



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**KOORDINASI PROTEKSI ADAPTIF RELE ARUS LEBIH
DIGITAL MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA PADA
JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL DENGAN PEMBANGKIT
TERSEBAR**

Arif Setiawan
NRP 2213 105 023

Dosen Pembimbing
Dr. Ardyono Priyadi, ST.,M.Eng
Ir. Sjamsjul Anam, M.T

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**ADAPTIVE COORDINATION PROTECTION DIGITAL OVER
CURRENT RELAY USING GENETIC ALGORITHM ON RADIAL
DISTRIBUTION NETWORK WITH DISTRIBUTED GENERATOR**

Arif Setiawan
NRP 2213 105 023

Advisor
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M. Eng
Ir. Sjamsjul Anam, M. T

DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**KORDENASI PROTEKSI ADAPTIF RELE ARUS LEBIH
DIGITAL MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA
PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL DENGAN
PEMBANGKIT TERSEBAR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

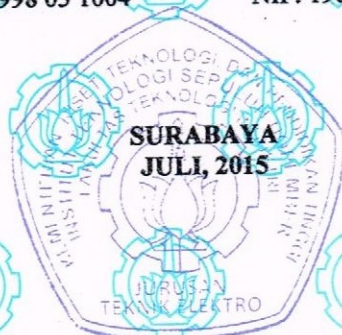


Dr. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng
NIP. 1973 09 27 1998 03 1004

Dosen Pembimbing II



Ir. Siamsjul Anam, MT.
NIP. 1963 07 25 1990 03 1002



KOORDINASI PROTEKSI ADAPTIF RELE ARUS LEBIH DIGITAL MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR

Nama Mahasiswa : Arif Setiawan

NRP : 2213105023

Dosen Pembimbing : Dr. Ardyono Priyadi, ST.,M.Eng
Ir. Sjamsjul Anam, M.T

ABSTRAK

Suatu pembangkit tersebar, bila dipasang pada jaringan distribusi radial, akan menyebabkan berubahnya karakteristik umum dari jaringan distribusi radial. Salah satu perubahan karakteristik itu adalah koordinasi proteksi pada jaringan tersebut. Besar arus kontribusi akan bertambah besar seiring pertambahan pembangkit tersebar serta aliran arus kontribusi juga mengalir dua arah sehingga perlu adanya peralatan proteksi yang bisa mendeteksi dua arah arus gangguan. Disamping itu pengoperasian pembangkit tersebar dapat bersifat *on* atau *off*, sehingga hal tersebut dapat menghasilkan kemungkinan perubahan konfigurasi yang berubah-ubah. Skema koordinasi adaptif diterapkan agar tercipta koordinasi pengaman yang optimal dengan menerapkan koordinasi yang berbeda pada tiap konfigurasi. Pada simulasi digunakan jaringan distribusi radial 5 bus yang terhubung dengan pembangkit tersebar pada bus 5 dan bus 2. Koordinasi adaptif memanfaatkan sebuah peralatan rele arus lebih digital agar dapat berkomunikasi dengan pusat kontrol otomatis. Algoritma genetika digunakan dalam koordinasi antar rele berupa *time dial* dan arus *pickup* sehingga dapat menghasilkan setelan yang tepat. Dari hasil simulasi dihasilkan peningkatan *sensitivitas* dan kecepatan ketika sistem adaptif diterapkan pada jaringan.

Kata kunci : Sistem distribusi radial, pembangkit tersebar, rele digital, koordinasi proteksi adaptif, algoritma genetika.

ADAPTIVE COORDINATION PROTECTION DIGITAL OVER CURRENT RELAY USING GENETIC ALGORITHM ON RADIAL DISTRIBUTION NETWORK WITH DISTRIBUTED GENERATOR

Student Name : Arif Setiawan
NRP : 2213105023
Advisor Lecturer : Dr. Ardyono Priyadi, ST.,M.Eng
Ir. Sjamsjul Anam, M.T

ABSTRACT

Injection distributed generator on radial distribution system caused a general characteristic of radial distribution system changed. One of changes in the characteristics is protection coordination on the network. The current magnitude will increase and current flow will contributes bidirectionally so that bidirectional apparatus protection capability is needed such as directional over current relay. Beside that, distributed generator operation has some condition like on or off status. Therefore it can generate possible changes in the configuration. Adaptive coordination scheme can be implemented in order to get optimal coordination by using different coordination based on configuration. Radial distribution system connected distributed generator on bus 5 and bus 2 implemented on this simulation. Digital over current relay is used in order to the relay can communicate with automatic control center. Genetic algorithm can be applied on system that aim to get correct time dial and pickup current. The Simulation results more sensitive and faster coordination when adaptive system applied on network.

Keyword : Radial distribution System, distributed generator, digital relay, adaptive coordination protection, genetic algorithm.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Alloh SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

Koordinasi Proteksi Adaptif Rele Arus Lebih Digital Menggunakan Algoritma Genetika pada Jaringan Distribusi Radial dengan Pembangkit Tersebar

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca pada umumnya serta mahasiswa Jurusan Teknik Elektro pada khususnya.

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Alloh SWT.
2. Kedua orang tua saya, Bapak Ponimin dan Ibu Nurhayat Isnaini yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, nasihat dan doanya selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Ardyono Priyadi ST.,M.Eng selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir serta Ir. Sjamsjul Anam, M.T. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan arahan, saran dan bimbingan kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir dan selama perkuliahan di Teknik Elektro.
4. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono S.T. M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro – ITS.
5. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro ITS, yang telah memberi bimbingan, inspirasi dan membagi ilmu pengetahuan selama perkuliahan.
6. Teman-teman seperjuangan TA yang turut membantu penulis dalam pengerjaan TA dan selalu memberikan motivasi dan semangat yang sangat besar bagi penulis.
7. Rekan-rekan di Laboratorium LIPIST yang telah membagi ilmu dan informasi selama proses pengerjaan TA.

8. Rekan-rekan *setopikta*, Yoga, Alfa, Agung, Halim yang telah membagi ilmu dan pendapat dalam penyelesaian TA ini.
9. Sahabat kos : Sampulur, Rico, Nurman, Angga, Gingin, Agung yang telah mengisi sepenggal kisah selama di Surabaya.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan, yang juga memberikan banyak dukungan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.

Dalam menyusun Tugas Akhir ini penulis telah berusaha untuk dapat menghasilkan karya terbaik, namun penulis merasa bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna dan banyak pengembangan yang mungkin masih bisa dilakukan, oleh karena itu penulis masih membuka diri untuk menertima kritik dan saran dari para pembaca sekalian guna pengembangan yang lebih baik.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan dan Manfaat	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	3

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik	5
2.1.1 Saluran Distribusi Radial	6
2.2 Proteksi Sistem Tenaga Listrik	6
2.3 Gangguan Sistem Tenaga Listrik	6
2.3.1 Gangguan Beban Lebih	7
2.3.2 Gangguan Hubung Singkat	7
2.3.3 Rumus Perhitungan Arus Hubung Singkat	7
2.4 Rele Arus Lebih	8
2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Invers	8
2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Instan	9
2.4.3 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers dan Instan	9
2.5 Koordinasi Rele Arus dan Waktu	11
2.6 <i>Distributed Generation</i>	11
2.7 Sistem Distribusi Radial Terhubung dengan <i>DG</i>	12
2.8 Algoritma Genetika	13
2.8.1 Pembangkitan Populasi Awal	13
2.8.2 Seleksi Alam	14

2.8.3 Pasangan	15
2.8.4 Perkawinan.....	15
2.8.5 Mutasi	16
2.8.6 Generasi	16
2.8.7 Contoh Program Algoritma Genetika	17
2.9 Sistem Adaptif	21

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

3.1 Data Sistem Distribusi Radial.....	23
3.2 Perancangan Perubahan Topologi Jaringan	26
3.2.1 Jaringan Terhubung <i>Grid</i> dan DG 1,2 Berstatus <i>On</i>	26
3.2.2 Jaringan Tidak Terhubung <i>Grid</i> dan DG 1,2 Berstatus <i>On</i>	27
3.2.3 Jaringan Terhubung <i>Grid</i> dan DG 1 Berstatus <i>On</i>	27
3.2.4 Jaringan Terhubung <i>Grid</i> dan DG 2 Berstatus <i>On</i>	28
3.2.5 Jaringan Terhubung <i>Grid</i> dan DG 1,2 Berstatus <i>Off</i>	29
3.3 Perancangan Koordinasi Proteksi Adaptif dengan Algoritma Genetika	30

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.1 Analisa Hubung Singkat	35
4.2 Arus Kontribusi Hubung Singkat pada Tiap Rele	37
4.2.1 Data Arus Kontribusi yang Melewati Rele Saat Hubung Singkat pada Bus Ketika Jaringan Hanya Terhubung <i>Grid</i> dan <i>Distributed Generator</i> dalam Keadaan Terputus	38
4.2.2 Data Arus Kontribusi yang Melewati Rele Saat Hubung Singkat pada Bus Saat Kondisi Jaringan <i>Islanding</i>	38
4.2.3 Data Arus Kontribusi yang Melewati Rele Saat Hubung Singkat pada Bus Ketika Jaringan Terhubung <i>Grid</i> dan DG 1,2 Tersambung dengan <i>Grid</i>	39
4.2.4 Data Arus Kontribusi yang Melewati Rele Saat Hubung Singkat pada Bus Ketika Jaringan Terhubung <i>Grid</i> dan DG 2 Tersambung dengan <i>Grid</i>	40
4.2.5 Data Arus Kontribusi yang Melewati Rele Saat Hubung Singkat pada Bus Ketika Jaringan Terhubung <i>Grid</i> dan DG 1 Tersambung dengan <i>Grid</i>	40
4.3 Koordinasi Proteksi Menggunakan Perhitungan Manual	41
4.3.1 Koordinasi Proteksi Saat Jaringan Hanya Terhubung <i>Grid</i> ...	42
4.3.2 Koordinasi Proteksi Saat Jaringan <i>Islanding</i>	47
4.3.3 Koordinasi Proteksi Saat Jaringan Terhubung <i>Grid</i>	

Serta DG 1 dan DG 2	52
4.3.4Koordinasi Proteksi Saat Jaringan Terhubung <i>Grid</i>	
Serta DG 2	59
4.3.5Koordinasi Proteksi Saat Jaringan Terhubung <i>Grid</i>	
Serta DG 1	64
4.4 Penerapan Algoritma Genetika Dalam Koordinasi	
Proteksi Adaptif.....	71
4.5 Hasil dan Analisa Simulasi Koordinasi Menggunakan	
Algoritma Genetika	72
4.5.1Hasil Koordinasi Saat Jaringan Hanya Terhubung <i>Grid</i>	72
4.5.2Hasil Koordinasi Ketika Kondisi <i>Islanding</i>	73
4.5.3Hasil Koordinasi Ketika Kondisi Terhubung <i>Grid</i>	
Serta DG 1 dan DG 2	75
4.5.4Hasil Koordinasi Ketika Kondisi Terhubung <i>Grid</i>	
dan DG 2	77
4.5.1Hasil Koordinasi Ketika Kondisi Terhubung <i>Grid</i>	
dan DG 1	78
4.6 Perbandingan Hasil Koordinasi Rele Menggunakan Program	
Dengan Manual	82
 BAB 5 PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran	88
 DAFTAR PUSTAKA	89
RIWAYAT PENULIS	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Contoh populasi awal dengan jumlah populasi 8 kromosom dan harga <i>cost</i>	16
Tabel 2.2	Contoh kromosom yang masih bertahan setelah dilakukan seleksi alam 50%	17
Tabel 3.1	Data <i>grid</i>	27
Tabel 3.2	Data <i>distributed generator</i>	27
Tabel 3.3	Data beban.....	27
Tabel 3.4	Data <i>line</i>	28
Tabel 3.5	Data pengamanan rele dan CT saluran utama	28
Tabel 3.6	Data <i>grid</i>	27
Tabel 4.1	Arus hubung singkat tiap bus ketika kondisi hanya terhubung dengan <i>grid</i>	41
Tabel 4.2	Arus hubung singkat tiap bus ketika kondisi bersifat <i>islanding</i>	41
Tabel 4.3	Arus hubung singkat tiap bus ketika kondisi terhubung dengan <i>grid</i> dan DG 1,2	42
Tabel 4.4	Arus hubung singkat tiap bus ketika kondisi terhubung dengan <i>grid</i> dan DG 2	42
Tabel 4.5	Arus hubung singkat tiap bus ketika kondisi terhubung dengan <i>grid</i> dan DG 1	42
Tabel 4.6	Arus kontribusi hubung singkat maksimal ketika kondisi hanya terhubung dengan <i>grid</i>	44
Tabel 4.7	Arus kontribusi hubung singkat minimal ketika kondisi hanya terhubung dengan <i>grid</i>	44
Tabel 4.8	Arus kontribusi hubung singkat maksimal ketika kondisi bersifat <i>islanding</i>	44
Tabel 4.9	Arus kontribusi hubung singkat minimal ketika kondisi bersifat <i>islanding</i>	45
Tabel 4.10	Arus kontribusi hubung singkat maksimal ketika kondisi terhubung dengan <i>grid</i> dan DG 1,2	45
Tabel 4.11	Arus kontribusi hubung singkat minimal ketika kondisi terhubung dengan <i>grid</i> dan DG 1,2	45
Tabel 4.12	Arus kontribusi hubung singkat maksimal ketika kondisi terhubung dengan <i>grid</i> dan DG 2	46
Tabel 4.13	Arus kontribusi hubung singkat minimal ketika kondisi terhubung dengan <i>grid</i> dan DG 2	46

Tabel 4.14	Arus kontribusi hubung singkat maksimal ketika kondisi terhubung dengan <i>grid</i> dan DG 1	46
Tabel 4.15	Arus kontribusi hubung singkat minimal ketika kondisi terhubung dengan <i>grid</i> dan DG 1	47
Tabel 4.16	Tabel koordinasi rele saat jaringan hanya terhubung <i>Grid</i>	72
Tabel 4.17	Tabel koordinasi rele saat jaringan <i>islanding</i>	73
Tabel 4.18	Tabel koordinasi rele ketika kondisi terhubung Grid dan DG 1,2	75
Tabel 4.19	Tabel koordinasi rele ketika kondisi terhubung Grid dan DG 2	77
Tabel 4.20	Tabel koordinasi rele ketika kondisi terhubung Grid dan DG 1	78
Tabel 4.21	Perbandingan ketika kondisi terhubung <i>grid</i>	82
Tabel 4.22	Perbandingan ketika kondisi <i>islanding</i>	82
Tabel 4.23	Perbandingan ketika terhubung grid dan DG 1,2	83
Tabel 4.24	Perbandingan ketika terhubung grid dan DG 2	84
Tabel 4.25	Perbandingan ketika terhubung grid dan DG 1	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komponen utama penyaluran tenaga listrik.....	7
Gambar 2.2	Konfigurasi Jaringan Radial	8
Gambar 2.3	Kurva karakteristik rele arus lebih waktu invers.....	11
Gambar 2.4	Kurva karakteristik invers dengan instan.....	11
Gambar 2.5	Flowchart <i>continuous genetic algorithm</i>	19
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram</i> Sistem	29
Gambar 3.2	Jaringan Terhubung Grid dan DG 1,2 <i>On</i>	30
Gambar 3.3	Jaringan Tidak Terhubung Grid dan DG 1,2 <i>On</i>	31
Gambar 3.4	Jaringan Terhubung Grid dan Hanya DG 1 Berstatus <i>On</i> Sedangkan 2 <i>Off</i>	32
Gambar 3.5	Jaringan Terhubung Grid dan Hanya DG 2 Berstatus <i>On</i> Sedangkan DG 1 <i>Off</i>	33
Gambar 3.6	Jaringan Terhubung Grid dan DG 1,2 <i>Off</i>	34
Gambar 3.7	Flowchart algoritma genetika untuk koordinasi proteksi	35
Gambar 4.1	Arus hubung singkat pada bus dengan konfigurasi jaringan yang berbeda.....	43
Gambar 4.2	Hasil <i>plot</i> setelan rele pada kondisi terhubung grid.	73
Gambar 4.3	Hasil <i>plot</i> setelan rele <i>forward</i> pada kondisi <i>Islanding</i>	74
Gambar 4.4	Hasil <i>plot</i> setelan rele <i>reverse</i> pada kondisi <i>Islanding</i>	75
Gambar 4.5	Hasil <i>plot</i> setelan rele <i>forward</i> pada kondisi terhubung Grid dan DG1,2	75
Gambar 4.6	Hasil <i>plot</i> setelan rele <i>reverse</i> pada kondisi terhubung Grid dan DG 1,2	76
Gambar 4.7	Hasil <i>plot</i> setelan rele pada kondisi terhubung Grid dan DG 2	77
Gambar 4.8	Hasil <i>plot</i> setelan rele <i>forward</i> pada kondisi terhubung Grid dan DG 1	79
Gambar 4.9	Hasil <i>plot</i> setelan rele <i>reverse</i> pada kondisi terhubung Grid dan DG 1	80

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan listrik suatu negara sangat dipengaruhi jumlah pertumbuhan penduduk. Semakin besar indeks pertumbuhan penduduk, maka tanggung jawab penyediaan sumber energi listrik semakin besar. Maka dari itu perlu terobosan baru dalam upaya mengatasi kebutuhan listrik tersebut. Salah satu terobosan dalam menambah sumber tenaga listrik bagi penduduk adalah konsep pembangkit tersebar. Pembangkit tersebar (*distributed generation*) merupakan gabungan beberapa pembangkit skala kecil yang terhubung dengan jaringan penyedia listrik utama dan ditempatkan secara tersebar. Jenis pembangkit tersebar dapat berupa *unrenewable* dan *renewable energy* yaitu *wind turbin*, *micro hidro* dan *pv voltage*.

Jaringan listrik utama (*grid*) dengan injeksi pembangkit tersebar mempunyai sistem proteksi yang perlu ditelaah lebih jauh karena dalam pengoperasian tiap-tiap unit pembangkit tersebar tidak selalu bisa secara berkelanjutan mensuplai daya ke jaringan utama. Hal ini disebabkan karena gabungan pembangkit tersebar dapat bersifat terhubung dengan *grid* dan *islanding* atau tidak terhubung dengan *grid*. Pada kondisi *islanding*, pembangkit tersebar terputus dengan jaringan utama serta mensuplai daya ke beban secara mandiri. Sehingga topologi jaringan akan berubah dari kondisi awal. Hal itu berkaitan erat dengan koordinasi proteksi yang telah dikoordinasikan dengan kondisi topologi awal. Ketika topologi berubah, dapat menghasilkan peningkatan atau penurunan level arus hubung singkat yang mana bisa berakibat tidak optimalnya koordinasi proteksi awal. Akibat tidak optimalnya koordinasi proteksi dapat menyebabkan meningkatnya besar kemungkinan kerusakan peralatan, pemadaman listrik bahkan dapat menyebabkan ledakan jika gangguan terjadi pada daerah dengan potensi bahan mudah terbakar.

Dari permasalahan diatas perlu adanya sistem proteksi *adaptif* yang dapat mengkoordinasi seting rele secara otomatis mengikuti kondisi perubahan status pembangkit tersebar diatas. Koordinasi proteksi ini bisa diterapkan pada rele *digital* dengan memanfaatkan algoritma tertentu.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pembangkit tersebar yang diinjeksikan pada jaringan utama listrik terhadap sistem proteksi ?
2. Bagaimana skema koordinasi rele adaptif dalam mengamankan jaringan listrik utama yang di injeksikan pembangkit tersebar ?
3. Bagaimana menerapkan metode algoritma genetika dalam *setting* koordinasi rele yang adaptif pada jaringan dengan pembangkit tersebar ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam tugas akhir ini simulasi dilakukan dengan software MATLAB R2010a
2. Dalam pengambilan data arus gangguan dan arus nominal digunakan software ETAP 11.0.0

1.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari tugas akhir ini adalah tercapainya koordinasi rele *adaptif* yang optimal pada jaringan distribusi dengan injeksi pembangkit tersebar menggunakan metode algoritma genetika sebagai algoritma optimasi. Adapun hasil penyusunan tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi bagian referensi dalam perancangan koordinasi proteksi pada sistem distribusi radial dengan pembangkit tersebar yang mungkin akan direalisasikan di Indonesia.

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan data dan studi literatur
Pengumpulan data dan studi literatur diperlukan untuk mendukung pengujian simulasi program. Adapun data-data yang diperlukan adalah data jaringan distribusi radial dengan pembangkit tersebar berupa *rating generator*, trafo, kabel, beban dan *single line diagram*. Literatur yang digunakan dalam

penyusunan tugas akhir ini berupa jurnal ilmiah, buku, dan *user manual* .

2. Pemodelan dan simulasi

Pemodelan digunakan dalam memodelkan *single line diagram* menggunakan software simulasi ETAP 11.0.0 Langkah selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya dan hubung singkat yang bertujuan untuk mendapatkan data masukan berupa arus *full load*, arus kontribusi gangguan yang melewati rele, ratio trafo dan pasangan rele utama dan *backup*. Simulasi program koordinasi proteksi *adaptif* menggunakan algoritma genetika disusun dengan memanfaatkan software MATLAB 2010a .

3. Analisis

Hasil simulasi terakhir berupa data koordinasi proteksi *adaptif* rele *digital* dimasukkan pada pemodelan *single line diagram* dalam ETAP 11.0.0 untuk memastikan kebenaran koordinasi tersebut. Analisis yang dilakukan pada tugas akhir ini meliputi sistem *adaptif* rele, penerapan algoritma genetika dalam koordinasi rele arus lebih *digital* dan pengaruh *injeksi* pembangkit tersebar dalam sistem distribusi radial terhadap sistem proteksi jaringan tersebut.

4. Kesimpulan

Langkah akhir dari penyusunan tugas akhir ini adalah pembuatan kesimpulan dari hasil analisis dan simulasi yang telah dilakukan. Selain itu juga akan diberikan saran dan rekomendasi tentang kelangsungan penelitian yang telah dilakukan khususnya penelitian pada jaringan distribusi masa depan.

1.6 Sistematika penulisan

Untuk memudahkan pembahasan yang akan dilakukan, tugas akhir ini terbagi menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi pengerjaan tugas akhir, sistematika pembahasan dan relevansi dari penulis.

BAB II : LANDASAN TEORI

Pada bab ini akan dijelaskan teori-teori penunjang yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

BAB III : PERANCANGAN SISTEM SIMULASI

Bab ini akan menjelaskan perancangan sistem sebelum dilakukan simulasi berupa *plant* dan *flowchart sistem*,

BAB IV : HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Dalam bab ini dibahas mengenai hasil simulasi yang telah dilakukan. Dalam bab ini akan disajikan analisis terhadap kinerja koordinasi rele arus lebih digital menggunakan algoritma genetika dan sistem *adaptif* pada koordinasi rele arus lebih pada jaringan yang terdapat pembangkit tersebar

BAB V : PENUTUP

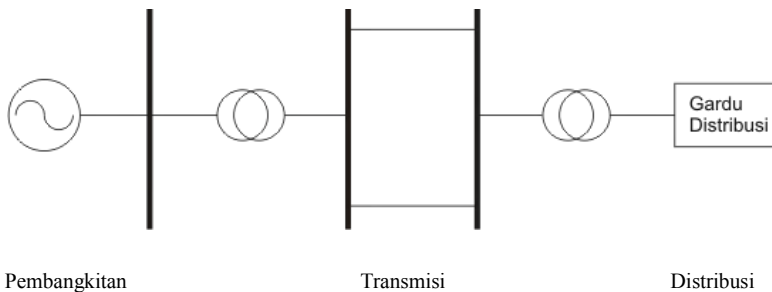
Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil simulasi, studi literatur dan analisis yang telah dilakukan.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik

Sistem penyaluran tenaga listrik diawali dari pembangkit listrik berupa PLTA, PLTU, PLTGU, PLTG, PLTP dan PLTP disalurkan sampai konsumen (beban) pada tingkat tegangan yang diperlukan. Bagian-bagian penting dalam proses penyaluran tenaga listrik adalah pembangkitan, penyaluran dan distribusi seperti pada gambar 2.1:



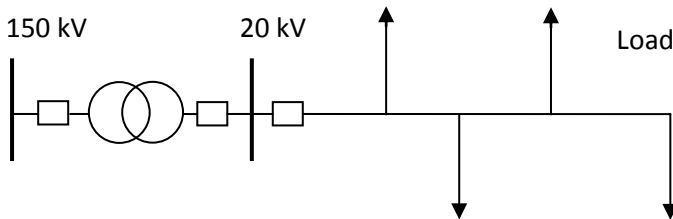
Gambar 2.1 Komponen utama penyaluran tenaga listrik.

Sebelum disalurkan ke sistem transmisi, tegangan dinaikan oleh transformator penaik tegangan yang berada pada pusat pembangkit. Saluran transmisi tegangan tinggi di Indonesia kebanyakan mempunyai tegangan 150kV dan 500kV, khusus untuk tegangan 500kV dalam praktek saat ini disebut tegangan ekstra tinggi.

Tenaga listrik yang telah disalurkan melalui saluran transmisi, akan diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan menjadi tegangan menengah atau juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Tegangan distribusi primer PLN yang dipakai adalah 20 kV. Dalam sistem distribusi, tegangan dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu, distribusi primer (20kV) dan distribusi sekunder (380/220V). Jaringan distribusi dengan tegangan 20kV disebut dengan jaringan tegangan menengah (JTM) dan jaringan distribusi 380/220V sering disebut dengan distribusi sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah 380/220V(JTR).

2.1.1 Saluran Distribusi Radial

Saluran distribusi mempunyai jenis-jenis dalam hal bentuk dan struktur. Jenis tersebut diantaranya adalah radial, lingkaran, spindel dan *kluster*. Saluran distribusi dengan bentuk dasar yang sederhana dan paling banyak digunakan adalah saluran distribusi jaringan radial. Sistem ini disebut radial karena jaringan ini ditarik secara radial dari gardu induk ke pusat-pusat beban. Adapun konfigurasinya terlihat pada gambar 2.2:



Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Radial

Sistem ini melayani suatu daerah beban tertentu dengan memasang transformator pada titik yang dekat dengan daerah beban yang dilayani. Transformator ini berguna untuk menurunkan tegangan sistem agar dapat dikonsumsi pada beban konsumen. Saluran dapat ditambah dengan cara dicabangkan untuk pelayanan beban yang menyimpang dari daerah radial. Sistem ini memiliki kelemahan yaitu adanya *voltage drop* yang cukup besar dan jika terjadi gangguan pada jaringan dapat mengakibatkan beban sebagian atau seluruhnya akan jatuh. Disisi lain sistem ini memiliki keuntungan yaitu pembangunan jaringan dengan jenis ini relatif murah, pemeliharaan sederhana dan mudah mengidentifikasi titik letak gangguan.

2.2 Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Dalam suatu sistem tenaga listrik, proteksi harus dapat mengatasi berbagai macam gangguan-gangguan pada sistem tenaga listrik, oleh sebab itu dibutuhkan peralatan listrik salah satunya adalah rele pengaman. Sistem tenaga listrik dibutuhkan untuk menghasilkan dan mengalirkan energi listrik ke konsumen. Oleh karena itu sistem tersebut harus dirancang sebaik mungkin agar kontinuitas tetap terjaga, handal,

dan ekonomis. Dalam pengoperasiannya berdasarkan referensi [7], peralatan rele pengaman sistem tenaga listrik harus memenuhi beberapa syarat yaitu :

- Sensitifitas, yaitu kemampuan dalam mendeteksi gangguan yang paling kecil dan beroperasi dengan benar sesuai setelan.
- Selektivitas, merupakan kemampuan dalam mendeteksi serta mengisolasi area gangguan secara selektif.
- Kecepatan, yaitu bekerja secepat mungkin dalam batas –batas aturan operasi yang telah ditentukan.
- Handal, yaitu kemampuan mengamankan secara berkesinambungan setiap ada gangguan.
- Stabilitas, yaitu kemampuan untuk menjaga pasokan pada bagian yang tidak mengalami gangguan.

2.3 Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Gangguan pada sistem tenaga listrik berupa arus lebih dapat disebabkan adanya dua kondisi gangguan yaitu gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*).

2.3.1 Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih merupakan gangguan ketika terdapat arus yang mengalir melebihi arus nominal atau arus beban penuh dari sistem. Bila gangguan ini dibiarkan dan tidak ditangani akan menyebabkan peralatan yang dilewati arus ini akan mengalami kerusakan.

2.3.2 Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat ini dapat menyebabkan arus besar yang mengalir pada fasa yang terganggu dan menyebabkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Gangguan ini dapat terjadi satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah , tiga fasa dan tiga fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat dibagi menjadi 2 jenis yaitu, hubung singkat simetri dan hubung singkat asimetri. Hubung singkat asimetri adalah gangguan hubung singkat tiga fasa. Sedangkan hubung singkat simetri meliputi gangguan selain hubung singkat tiga fasa.

2.3.3 Rumus Perhitungan Arus Hubung Singkat

Hubung singkat pada sistem distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

- Hubung Singkat Tiga Fasa

$$I_{sc3\phi} = \frac{V_{ln}}{X_1} \quad (2.1)$$

Pada hubung singkat ini, ketiga fasa saling bersentuhan. V_s merupakan tegangan nominal *line to netral* dan X_1 adalah reaktansi urutan positif.

- Hubung Singkat Antar Fasa

$$I_{sc2\phi} = \frac{V_{ll}}{X_1 + X_2} \quad (2.2)$$

$$I_{sc2\phi} = \frac{\sqrt{3} V_{ln}}{X_1 + X_2} \text{ dan jika } X_1 = X_2$$

Maka persamaan menjadi :

$$I_{sc2\phi} = \frac{1}{2} \sqrt{3} \frac{V_{ln}}{X_1} = 0,866 I_{sc3\phi} \quad (2.3)$$

Hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah.

2.4 Rele Arus Lebih

Rele arus lebih berfungsi untuk mengamankan jaringan dari gangguan arus lebih. Cara kerja rele arus lebih adalah bekerja ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. Rele arus lebih akan bekerja ketika kondisi sebagai berikut :

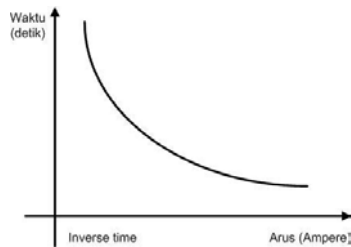
$$\begin{aligned} \text{Arus gangguan} > I_{pickup} &= \text{Rele bekerja} \\ \text{Arus gangguan} < I_{pickup} &= \text{Tidak bekerja} \end{aligned}$$

2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Invers

Salah satu jenis rele arus lebih adalah rele arus lebih waktu invers. Sifat rele ini adalah memiliki waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan[6]. Hal ini dapat diartikan, semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat, begitu juga sebaliknya. Kurva karakteristik kerja rele arus lebih waktu invers digambarkan dalam kurva arus-waktu atau disebut *time-current characteristic*.

Karakteristik invers dijelaskan dalam standar IEC 60255-3 dan BS 142. Pada standar ini dijelaskan beberapa jenis perlindungan waktu invers yang dibedakan oleh gradien kurva yaitu *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*. Karakteristik kurva invers ini disebut dengan istilah *inverse definite minimum time* (IDMT). Karena seiring dengan arus yang bertambah besar, maka waktu operasi rele turun semakin cepat seolah mendekati waktu *definite* minimumnya.

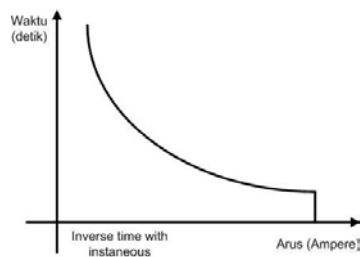
Pada gambar 2.3 ditampilkan gambar kurva karakteristik rele arus lebih waktu invers



Gambar 2.3 Kurva karakteristik rele arus lebih waktu invers

2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Rele lebih waktu instan bekerja tanpa penundaan waktu, akan tetapi bekerja dengan waktu cepat sebesar 0,1 detik. Pada rele ini mempunyai sifat kerja yang didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih. Sering disebut dengan setelan *instant* pada sistem distribusi jaringan tegangan menengah. Sering terjadi penggabungan antara rele arus lebih waktu invers dengan rele arus lebih waktu instan, seperti terlihat pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4 Kurva karakteristik invers dengan instan

2.4.3 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers dan Instan

Rele arus lebih waktu invers memiliki karakteristik ketika arus gangguan semakin besar, maka waktu operasi rele semakin cepat. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil arus gangguan yang terjadi maka waktu operasi rele akan lebih lama. Pada rele arus lebih waktu invers, terdapat dua penyetelan. Penyetelan tersebut adalah *setting* arus dan waktu. Penyetelan arus dilakukan dengan mengatur *tap* pada rele yang didapat dengan persamaan sebagai berikut:

$$Tap = \text{—————} \quad (2.4)$$

Penyetelan arus harus mempertimbangkan arus beban maksimal. Hal ini bertujuan agar kondisi ketika beban penuh rele tidak terjadi *trip*. I_{set} merupakan arus *pickup* dalam Ampere. Berdasarkan standar British BS-142 penyetelan arus pickup mempunyai batas sebagai berikut:

$$1,05 I_{FLA} < I_{set} < 1,4 I_{FLA}$$

Dimana I_{FLA} adalah arus beban maksimum peralatan.

Penyetelan waktu dilakukan dengan mengatur *time dial* untuk mendapatkan waktu operasi rele tersebut. Berdasarkan IEC 255-3, untuk gangguan pada sistem distribusi menggunakan jenis kurva *standard invers* dengan persamaan sebagai berikut berdasarkan referensi [3]:

$$t_d = \frac{x D}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right]} \quad (2.5)$$

Di mana :

t_d = waktu operasi (detik)

D = *time dial*

I = nilai arus gangguan (Ampere)

I_{set} = arus *pickup* (Ampere)

k = 0,14

α = 0,02

Rele arus lebih instan memiliki karakteristik kerja tanpa penundaan waktu, tapi masih bekerja dengan waktu cepat. Jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang ditentukan maka rele akan bekerja. Dalam

menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan $I_{sc\ min}$ yaitu arus hubung singkat minimum 2 fasa. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0,8 I_{sc\ min} \quad (2.6)$$

2.5 Koordinasi Rele Arus dan Waktu

Koordinasi rele pada jaringan sangat mempertimbangkan urutan trip rele *primer* dan *backup*. Dalam urutan trip tersebut terdapat delay agar tidak terjadi *malfunction* yaitu trip secara bersamaan. Perbedaan waktu kerja antara Rele utama dan Rele *backup* berdasarkan standar IEEE 242 adalah 0.2 – 0.35 detik . Dengan spesifikasi sebagai berikut :

Waktu buka CB : 0,08

Overtravel dari Rele : 0,00 s (rele digital)

Faktor keamanan : 0,17 s

Untuk rele berbasis *microprocessor* *Overtravel time* dari Rele diabaikan. Sehingga waktu yang diperlukan adalah 0,2-0,3s [7].

2.6 Distributed Generation

Pembangkit tersebar atau sering disebut *Distributed generation* (DG) dapat didefinisikan sebagai pembangkit tenaga listrik modular, kecil dan dapat sebagai perlengkapan penyimpanan(*storage devices*) yang mampu dihubungkan dengan jaringan maupun dioperasikan secara terpisah (*islanded*). Distributed generatin merupakan pembangkit listrik denga kapasitas kecil antara 15-10.000kW[8]. Adapun aplikasi penggunaan distributed generation yaitu:

- *Peaking power (load shaving)*

Pada aplikasi ini, DG beroperasi antara 200-300 jam tiap tahun untuk mengurangi harga listrik yang harus dibayar oleh pelanggan (biasanya jenis pelanggan adalah industri) selama waktu beban puncak. Karakteristik DG yang penting pada aplikasi ini adalah biaya pemasangan yang rendah dan dapat *start* hanya dalam beberapa menit.

- *Continous power*

Pada aplikasi ini DG beroperasi paling sedikit 6000 jam dalam setahun untuk membangkitkan tenaga listrik bagi sebagian atau seluruh fasilitas secara terus menerus. Karaktristik DG pada aplikasi ini adalah efisiensi tinggi, biaya pemeliharaan rendah dan

emisi rendah. DG pada aplikasi ini banyak digunakan oleh pelanggan jenis industri dan komersial

- *Combined Heat and Power (CHP)*
Aplikasi DG ini beroperasi paling sedikit 600 jam dalam setahun untuk membangkitkan tenaga listrik bagi sebagian atau seluruh fasilitas. Energi panas yang dibuang dapat digunakan untuk memanaskan udara ruangan, air atau untuk keperluan lainnya. Dengan demikian, aplikasi ini mempunyai efisiensi sangat tinggi.
- *Emergency power*
Aplikasi DG ini bertindak sebagai *backup generator* yang dihubungkan ke beban jika terjadi gangguan pada jaringan. Aplikasi ini digunakan untuk pelanggan penting dimana saluran tenaga tidak boleh padam seperti fasilitas kesehatan.

2.7 Sistem Distribusi Radial Terhubung dengan DG

Pada sistem distribusi radial umumnya arus gangguan mengalir dari sumber menuju lokasi gangguan. Arah aliran arus searah. Ketika DG diinjeksikan pada jaringan radial, maka karakteristik jaringan radial bisa berubah. Ketika terjadi gangguan pada salah satu titik di antara dua DG, maka akan menyebabkan tiap DG memberi arus kontribusi pada lokasi gangguan tersebut .

Sistem proteksi yang bekerja secara otomatis dirancang untuk melakukan hal itu, yaitu mematikan arus ketika gangguan terjadi dan kemudian mengalirkannya lagi setelah arc hilang sehingga respon yang terjadi diharapkan terjadi dalam waktu seminimal mungkin. Bila sebuah distributed generator mengirimkan daya ke suatu sistem pada sebuah lokasi yang berada di antara alat proteksi dan gangguan, dan tidak ada komunikasi atau peralatan proteksi yang tepat, maka unit tersebut akan menghasilkan arus ke lokasi gangguan, sehingga gangguan akan terus terjadi. Gangguan yang terjadi secara terus menerus akan menyebabkan kerusakan baik di sistem distribusi maupun pada peralatan pada jalur tersebut[12].

Hubungan DG pada saluran grid memang bukan hal baru, namun perkembangan jumlah pengguna DG sudah meningkat pesat dan efek dari operasi saluran ini semakin terlihat. Kehawatiran ini muncul karena terdapat beberapa masalah proteksi pada jaringan saat terhubung DG. Adapun permasalahan yang terjadi berdasarkan referensi [11] adalah:

- Kesalahan pemutusan
- Kehilangan koordinasi
- Sistem proteksi tidak bekerja

Sambungan suatu DG tidak hanya merubah karakteristik aliran daya yang terjadi akan tetapi juga mempengaruhi besar arus gangguan. Karena DG dapat mengubah kontribusi arus hubung singkat pada jaringan, maka koordinasi proteksi pada sistem terpengaruh pula. Pengaruh tersebut dapat berupa penurunan keandalan, selektifitas atau mungkin dapat menyebabkan kehilangan koordinasi. Posisi dimana DG disambungkan dengan jaringan juga dapat berpengaruh pada *kompleksitas* koordinasi proteksi yang akan diterapkan. Hal ini terjadi akibat arah arus kontribusi dari DG mengalir menuju lokasi sumber gangguan.

2.8 Algoritma Genetika

Algoritma genetika merupakan metode pencarian dengan menggunakan prinsip proses biologi yaitu evolusi alam. Algoritma ini didasarkan pada proses genetik yang ada pada makhluk hidup, yaitu perkembangan generasi dari awal sampai akhir. Sehingga prinsip seleksi alam yaitu “*survive*” menjadi filosofi dari algoritma ini berdasarkan referensi [5].

Proses metode ini diawali dengan pembangkitan sejumlah populasi secara random sebagai solusi awal. Hasil random awal tersebut akan menjadi induk dari proses generasi selanjutnya. Jika suatu individu memenuhi persyaratan dalam menjalani sebuah proses evolusi, maka individu yang mencapai fungsi tujuan tersebut akan mempunyai kesempatan lebih untuk dipilih menjadi individu terbaik. Sedangkan individu yang tidak sesuai tujuan akan dibuang.

Dalam metode algoritma genetika terdapat istilah-istilah yang mempunyai arti tertentu dalam prosesnya. Adapun istilah-istilah yang sering digunakan dalam optimasi dengan metode ini adalah sebagai berikut:

2.8.1 Pembangkitan Populasi Awal

Populasi awal dibangkitkan dengan menentukan terlebih dahulu jumlah variabel yang menjadi obyek random. Jika variabel atau kromosom mempunyai N_{var} variabel, maka akan terbentuk *array*

sejumlah 1 x $Nvar$. Maka akan terbentuk kromosom, kromosom = $[p1, p2, p3, p4, \dots, pNvar]$. Populasi dibangkitkan dalam bentuk $Npop$ kromosom. Sehingga akan terbentuk suatu matriks dengan $Npop \times Nvar$. Variabel akan dinormalisasikan agar didapat harga antara 0 dan 1. Jika batasan variabel adalah plo dan phi , maka harga yang tidak ternormalisasi dapat diciptakan dengan persamaan sebagai berikut [5]:

$$p = (phi - plo)pnorm + plo \quad (2.7)$$

plo = Nilai terbesar dari rentang variabel yang diinginkan.

phi = Nilai terkecil dari rentang variabel yang diinginkan.

$Pnorm$ = Nilai normalisasi dari variabel

Jika terdapat 3 variabel sebagai contoh kasus dari persamaan $x+2y+3z=22$, maka 3 variabel tersebut akan dibangkitkan pada populasi awal secara random dengan nilai acak sebagai berikut:

Kromosom[1]=

$x=10$	$y=3$	$z=2$
--------	-------	-------

2.8.2 Seleksi Alam

Tujuan dari seleksi alam untuk mendapatkan nilai fungsi $Npop$ - yang memenuhi syarat evaluasi dan batas-batas. Selanjutnya hasilnya akan di urutkan berdasarkan nilai terendah ke terbesar. Proses ini harus berada dalam tiap *iterasi* sehingga setiap kromosom dari populasi dapat mendapatkan hasil terbaik pada tiap generasi yang dilewati [5]. Dibawah ini tabel contoh pembangkitan populasi awal dan seleksi.

Tabel 2.1 Contoh populasi awal dengan populasi 8, kromosom dan harga *cost*

x	y	Cost
6,97450	0,8342	3,4766
0,30359	9,6828	5,5408
2,40200	9,3359	-2,2528
0,18758	8,9371	-8,0108
2,69740	6,2647	-2,8957
5,61300	0,1289	-2,4601
7,72460	5,5655	-9,8884
6,85370	9,8784	13,752

Tabel 2.2 Contoh kromosom yang masih bertahan setelah dilakukan seleksi 50%

x	y	Cost
7,72460	5,5655	-9,8884
0,18758	8,9371	-8,0108
2,69740	6,2647	-2,8957
5,61300	0,1289	-2,4601

Pada contoh diatas, rata-rata harga fungsi dari 8 populasi adalah -0,3423 dan harga terbaik adalah -9,8884. Setelah terjadi seleksi didapat rata-rata harga fungsi dari populasi adalah -5,8138.

2.8.3 Pasangan

Tahap ini akan dilakukan pembangkitan pasangan induk secara random dari kromosom – kromosom hasil seleksi. Sebagai contoh, $m_a = [2 \ 3]$ dan $p_a = [3 \ 1]$ merupakan pasangan yang mana kromosom 2 berpasangan dengan kromosom 3 dan kromosom 3 berpasangan dengan kromosom 1.

2.8.4 Perkawinan

Pada bagian ini dua pasangan induk akan dikawinkan sehingga menghasilkan dua pasang keturunan.

$$\text{induk}_1 = [p_{m1}, p_{m2}, p_{m3}, p_{m4}, p_{m5}, \dots, p_{mNvar}]$$

$$\text{induk}_2 = [p_{d1}, p_{d2}, p_{d3}, p_{d4}, p_{d5}, \dots, p_{dNvar}]$$

Crossover dilakukan secara random diantara variabel diatas:

$$\text{Keturunan}_1 = [p_{m1}, p_{m2}, p_{d3}, p_{d4}, p_{m5}, \dots, p_{mNvar}]$$

$$\text{Keturunan}_2 = [p_{d1}, p_{d2}, p_{m3}, p_{m4}, p_{d5}, \dots, p_{dNvar}]$$

Untuk contoh diatas, maka nilai pasangan induk adalah :

$$\text{Kromosom}_1 = [0.1876, 8.9371]$$

$$\text{Kromosom}_2 = [2.6974, 6.2647]$$

Pembangkitan secara random menentukan p_l sebagai lokasi persilangan. Nilai random dari p membangi an β yang m r u p a n nilai a c a n a r a 0 a m p a i d i d a p a $\beta = 0.0272$ dan $\beta = 0.7898$.

Maka keturunan baru akan bernilai sesuai dengan persamaan [5]:

$$p_{new1} = p_{ma} - \beta[p_{ma} - p_{da}] \quad (2.8)$$

$$p_{new2} = p_{ma} + \beta[p_{ma} - p_{da}] \quad (2.9)$$

Maka dapat dihasilkan:

$$\begin{aligned} \text{Keturunan}_1 &= [0.18758 - 0.0272 \times 0.18758 + 0.0272 \times 2.6974, 6.2647] \\ &= [0.2558, 6.2647] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keturunan}_2 &= [2.6974 + 0.0272 \times 0.18758 - 0.0272 \times 2.6974, 8.9371] \\ &= [2.6292, 8.9371] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keturunan}_3 &= [2.6974 - 0.7898 \times 2.6974 + 0.7898 \times 7.7246, 6.2647] \\ &= [6.6676, 5.5655] \end{aligned}$$

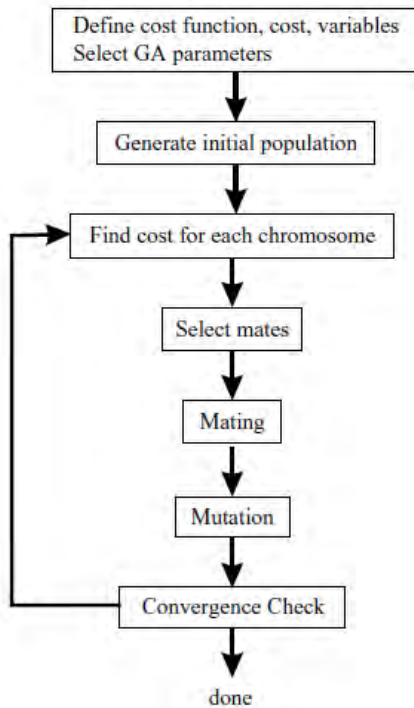
$$\begin{aligned} \text{Keturunan}_4 &= [7.7246 + 0.7898 \times 2.6974 - 0.7898 \times 7.7246, 8.9371] \\ &= [3.7544, 6.2647] \end{aligned}$$

2.8.5 Mutasi

Proses mutasi diterapkan agar menghasilkan nilai *global optimum* serta tidak terjadi lokal optimum pada proses random. Terkadang dihasilkan hasil yang konvergen terlalu cepat pada satu daerah optimasi tanpa mempertimbangkan daerah lain secara umum. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu mendorong proses untuk lebih menjelajahi harga daerah-daerah lain. Probabilitas mutasi yang baik berada pada kisaran 0 sampai 0.3. Probabilitas mutasi yang terlalu kecil dapat menyebabkan nilai terjebak dalam optimum lokal, dan probabilitas mutasi yang terlalu besar dapat mempersulit dalam mendapatkan nilai konvergen [5].

2.8.6 Generasi

Setelah proses mutasi dilakukan, *iterasi* akan kembali ke awal untuk menghasilkan sejumlah generasi selanjutnya sehingga didapat populasi –populasi baru dan akhirnya mendapatkan harga fungsi terbaik berdasarkan urutan.



Gambar 2.5 Flowchart *continuous genetic algorithm* [5]

2.8.7 Contoh Program Algoritma Genetika

Berikut ini akan ditampilkan contoh Program algoritma genetika yang terdapat pada [5] menggunakan bahasa pemrograman MATLAB:

- **Objective Function *testfunction.m***

```

% Test functions for optimization
% These are the test functions that appear in Appendix
% I.
% Set funnum to the function you want to use.
% funnum=17 is for a MOO function
% Haupt & Haupt
% 2003
function f=testfunction(x)
funnum=16;

```

```

if funnum==1 %F1
f=abs(x)+cos(x);
elseif funnum==2 %F2
f=abs(x)+sin(x);
elseif funnum==3 %F3
f=x(:,1).^2+x(:,2).^2;
elseif funnum==4 %F4
f=100*(x(:,2).^2-x(:,1)).^2+(1-x(:,1)).^2;
elseif funnum==5 %F5
f(:,1)=sum(abs(x')-10*cos(sqrt(abs(10*x'))))';
elseif funnum==6 %F6
f=(x.^2+x).*cos(x);
elseif funnum==7 %F7
f=x(:,1).*sin(4*x(:,1))+1.1*x(:,2).*sin(2*x(:,2));
elseif funnum==8 %F8
f=x(:,2).*sin(4*x(:,1))+1.1*x(:,1).*sin(2*x(:,2));
elseif funnum==9 %F9
f(:,1)=x(:,1).^4+2*x(:,2).^4+randn(length(x(:,1)),1);
elseif funnum==10 %F10
f(:,1)=20+sum(x'.^2-10*cos(2*pi*x'))';
elseif funnum==11 %F11
f(:,1)=1+sum(abs(x').^2/4000)'-prod(cos(x'))';

```

▪ **Program Utama GA.m**

```

% Continuous Genetic Algorithm
% minimizes the objective function designated in ff
% Before beginning, set all the parameters in parts
% I, II, and III
% Haupt & Haupt
% 2003
%


---


% I Setup the GA
ff='testfunction'; % objective function
npar=2; % number of optimization variables
varhi=10; varlo=0; % variable limits

%


---


% II Stopping criteria
maxit=100; % max number of iterations
mincost=-9999999; % minimum cost
%


---


% III GA parameters
popsize=12; % set population size

```

```

mutrate=.2; % set mutation rate
selection=0.5; % fraction of population kept
Nt=npar; % continuous parameter GA Nt=#variables
keep=floor(selection*popsiz); % #population
% members that survive
nmut=ceil((popsiz-1)*Nt*mutrate); % total number of
% mutations
M=ceil((popsiz-keep)/2); % number of matings
%
% Create the initial population
iga=0; % generation counter
initialized
par=(varhi-varlo)*rand(popsiz,npar)+varlo; % random
cost=feval(ff,par); % calculates population cost
% using ff
[cost,ind]=sort(cost); % min cost in element 1
par=par(ind,:); % sort continuous
minc(1)=min(cost); % minc contains min of
meanc(1)=mean(cost); % meanc contains mean of
population
%
% Iterate through generations
while iga<maxit
iga=iga+1; % increments generation counter
%
% Pair and mate
M=ceil((popsiz-keep)/2); % number of matings
prob=flipud([1:keep]'/sum([1:keep])); % weights
% chromosomes
odds=[0 cumsum(prob(1:keep))']; % probability
% distribution
% function
pick1=rand(1,M); % mate #1
pick2=rand(1,M); % mate #2
% ma and pa contain the indicies of the chromosomes
% that will mate
ic=1;
while ic<=M
for id=2:keep+1
if pick1(ic)<=odds(id) & pick1(ic)>odds(id-1)
ma(ic)=id-1;
end
if pick2(ic)<=odds(id) & pick2(ic)>odds(id-1)
pa(ic)=id-1;

```

```

end
end
ic=ic+1;
end
%
% Performs mating using single point crossover
ix=1:2:keep; % index of mate #1
xp=ceil(rand(1,M)*Nt); % crossover point
r=rand(1,M); % mixing parameter
for ic=1:M
xy=par(ma(ic),xp(ic))-par(pa(ic),xp(ic)); % ma and pa
% mate
par(keep+ix(ic),:)=par(ma(ic),:); % 1st offspring
par(keep+ix(ic)+1,:)=par(pa(ic),:); % 2nd offspring
par(keep+ix(ic),xp(ic))=par(ma(ic),xp(ic))-r(ic).*xy;
% 1st
par(keep+ix(ic)+1,xp(ic))=par(pa(ic),xp(ic))+r(ic).*xy;
;
% 2nd
if xp(ic)<npar % crossover when last variable not
selected
par(keep+ix(ic),:)=par(keep+ix(ic),1:xp(ic))
par(keep+ix(ic)+1,xp(ic)+1:npar)];
par(keep+ix(ic)+1,:)=par(keep+ix(ic)+1,1:xp(ic))
par(keep+ix(ic),xp(ic)+1:npar)];
end % if
end
%
% Mutate the population
mrow=sort(ceil(rand(1,nmut)*(popsize-1))+1);
mcol=ceil(rand(1,nmut)*Nt);

for ii=1:nmut
par(mrow(ii),mcol(ii))=(varhi-varlo)*rand+varlo;
% mutation
end % ii
%
% The new offspring and mutated chromosomes are
% evaluated
cost=fval(ff,par);
%
% Sort the costs and associated parameters
[cost,ind]=sort(cost);
par=par(ind,:);

```

```

%
% Do statistics for a single nonaveraging run
minc(iga+1)=min(cost);
meanc(iga+1)=mean(cost);
%
% Stopping criteria
if iga>maxit | cost(1)<mincost
break
end
[iga cost(1)]
end %iga
%
% Displays the output
day=clock;
disp(datestr(datenum(day(1),day(2),day(3),day(4),day(5)
),
day(6)),0))
disp(['optimized function is ' ff])
format short g
disp(['popsize = ' num2str(popsize) ' mutrate = '
num2str(mutrate) ' # par = ' num2str(npar)])
disp(['#generations=' num2str(iga) ' best cost='
num2str(cost(1))])
disp(['best solution'])
disp([num2str(par(1,:))])
disp('continuous genetic algorithm')
figure(24)
iters=0:length(minc)-1;
plot(iters,minc,iters,meanc,'-');
xlabel('generation');ylabel('cost');
text(0,minc(1),'best');text(1,minc(2),'population
average')
%

```

2.9 Sistem Adaptif

Sistem proteksi konvensional mempunyai sensitivitas yang kurang baik dan mempunyai respon lambat. Sistem proteksi adaptif pada jaringan distribusi atau dalam istilah *Adaptive Distribution System* (ADPS) diperlukan untuk mengatasi masalah yang berkaitan dengan sistem proteksi konvensional. ADPSs mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan sistem proteksi konvensional. Keunggulan

tersebut diantaranya adalah peningkatan sistem kepekaan, keandalan, efisiensi dan keamanan [13].

ADPSs diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu berbasis komunikasi dan tidak berbasis komunikasi. Dalam sistem berbasis komunikasi, melingkupi komunikasi terpusat dan sistem *multi-agent*. Komunikasi dari ADPS berlangsung antara rele arus lebih digital dengan komputer *substation* dan dari komputer *substation* dengan komputer pusat. Komunikasi ini melewati suatu jalur hubungan tertentu [13].

Komunikasi merupakan bagian yang sangat dipertimbangan dalam sistem proteksi adaptif berbasis komunikasi. Komunikasi dibutuhkan untuk melayani komunikasi antara *distributed generation*, rele dan *Central Relaying Unit* (CRU)[14]. Intranet dapat digunakan sebagai komunikasi utama jaringan yang terhubung dengan *router* . Dikarenakan intranet bersifat *closed network* sehingga dalam implementasi akan memakan biaya yang tinggi, dibandingkan dengan sistem internet. Akan tetapi intranet mempunyai keandalan dan keamanan yang lebih dari pada internet [13]. Internet dapat pula digunakan sebagai *backup* jika komunikasi secara intranet gagal dilakukan.

Distributed Network Protocol 3.0 (DNP3) dapat disarankan sebagai protokol komunikasi dari sistem proteksi *adaptif* . Protokol digunakan untuk memfasilitasi pertukaran data antara DG, rele dan CRU. DNP3 pertama kali di perkenalkan pada tahun 1993 oleh GE dan berdasarkan standar IEC 60870-5 protokol [13]. Pertama kali dibuat untuk sistem SCADA. Media dalam bentuk fisik yang dapat digunakan dalam sistem komunikasi adalah fiber optik.

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

3.1. Data Sistem Distribusi Radial

Dalam simulasi koordinasi proteksi adaptif pada tugas akhir ini digunakan sistem distribusi radial 5 bus dengan diinjeksikan beberapa pembangkit tersebar. Pembangkit utama pada sistem ini berupa Grid yang tersambung dengan *Distributed Generator* 1 dan *Distributed Generator* 2. *Distributed generator* terhubung dengan bus 2 dan bus 5. Adapun jenis dari DG adalah generator sinkron. DG dapat dioperasikan dengan mengatur CB yang terletak sebelum DG. Tabel 3.1 dan 3.2 ditampilkan spesifikasi grid dan generator:

Tabel 3.1 Data *grid*

No	Jenis	MVAsc (max)	MVAsc (min)	Rating Tegangan
1	Grid	249	244	20 kV

Tabel 3.2 Data *Distributed Generator*

No	Jenis	Rating Daya(MW)	Rating Tegangan(kV)	Power Faktor(%)
1	DG1	8,0	20	85
2	DG2	8,5	20	85

Beban-beban yang terpasang pada simulasi ini terdiri dari *Lumped Load*. Beban jenis ini berupa gabungan beban motor dan beban *static*. Kapasitas beban *Lumped Load* dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data beban

No	Beban	Bus	MVA	Tegangan(kV)	Power Faktor(%)
1	Load 1	1	2,3	20	91,04
2	Load 2	2	2,0	20	98,13
3	Load 3	3	1,507	20	99,50
4	Load 4	4	2,022	20	98,89
5	Load 5	5	3,0	20	89,44

Untuk menghubungkan bus satu dengan lainnya, saluran distribusi pada simulasi digunakan kabel dengan resistansi dan reaktansi tiap kabel berbeda pada tiap hubungan bus.

Tabel 3.4 Data *line*

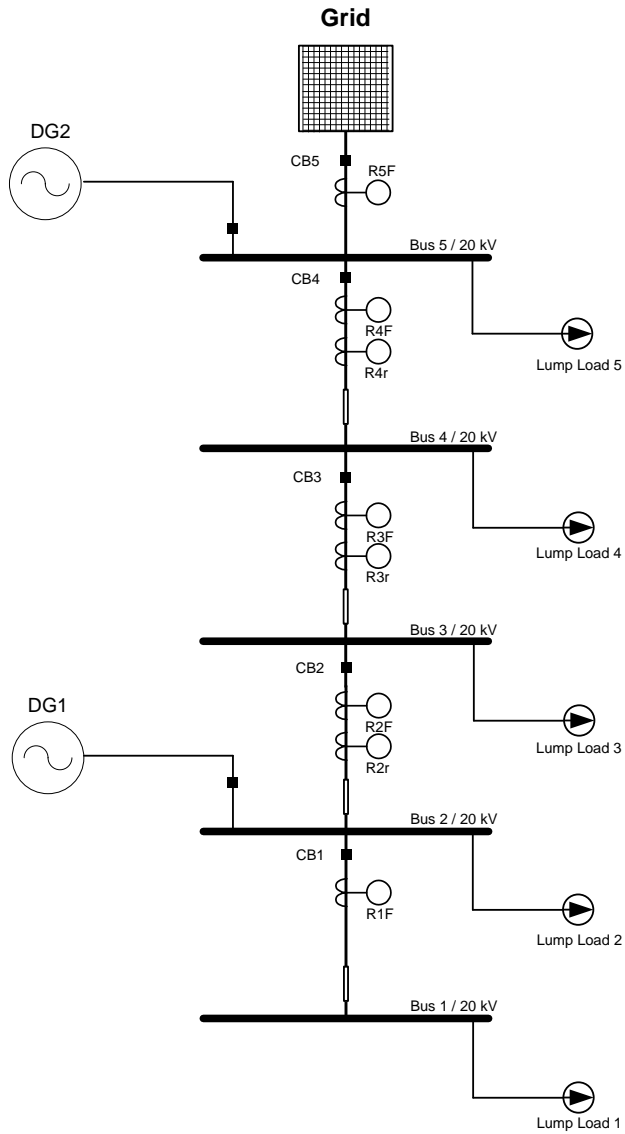
No	Line	R (Ω)	X (Ω)	Jarak (m)
1	Line 1-2	0,1344	0,0632	673
2	Line 2-3	0,4874	0,2284	2437
3	Line 3-4	0,1912	0,0897	956
4	Line 4-5	0,1344	0,0632	672

Sistem proteksi pada simulasi ini menggunakan rele arus lebih sebagai peralatan yang berfungsi memberi perintah circuit breaker untuk bertindak *open / close* . Rele arus lebih yang berarah digunakan agar rele juga dapat mendeteksi arah gangguan.

Tabel 3.5 Data pengaman rele dan CT saluran utama

No	Id	Arah	Ratio CT	Line
1	R1F	<i>Forward</i>	120/1	Line 1-2
2	R2F	<i>Forward</i>	150/1	Line 2-3
	R2r	<i>Reverse</i>	200/1	
3	R3F	<i>Forward</i>	200/1	Line 3-4
	R3r	<i>Reverse</i>	120/1	
4	R4F	<i>Forward</i>	300/1	Line 4-5
	R4r	<i>Reverse</i>	120/1	
5	R5F	<i>Forward</i>	400/1	Line 5-Grid

Setelah nilai koordinasi dari program menggunakan Matlab didapat, maka akan dimasukan nilai-nilai tersebut pada tiap rele di single line diagram yang dibuat di ETAP 11.0.0 untuk memastikan hasil *output* program tepat. Jenis rele pada simulasi ini sudah ditentukan yaitu menggunakan rele ABB REX 521. Rele proteksi REX 521 didesain untuk proteksi, kontrol, pengukuran dan pengawasan pada tegangan menengah.



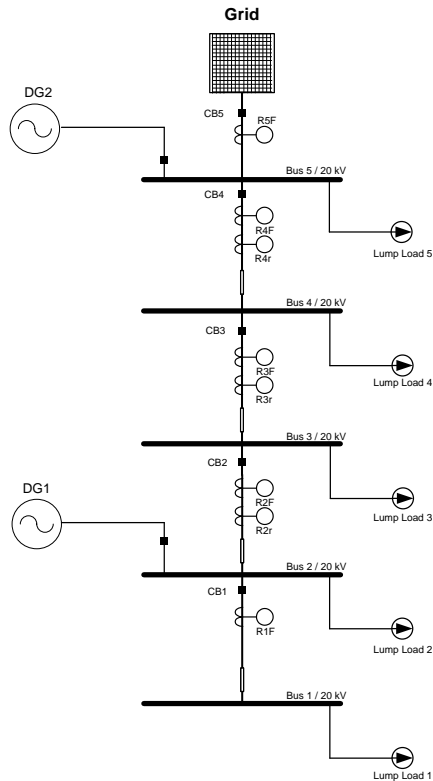
Gambar 3.1 *Single Line Diagram* Sistem

3.2 Perancangan Perubahan Topologi Jaringan

Jaringan distribusi dengan *distributed generator* memiliki karakteristik perubahan konfigurasi yang disebabkan adanya perubahan status DG yaitu kondisi *On* / *Off* . Hal tersebut menyebabkan beberapa pengaruh terhadap koordinasi proteksi jaringan tersebut. Skema kondisi perubahan topologi jaringan yang dapat terjadi pada simulasi ini diantaranya adalah sebagai berikut:

3.2.1 Jaringan Terhubung Grid dan DG 1,2 Berstatus *On*

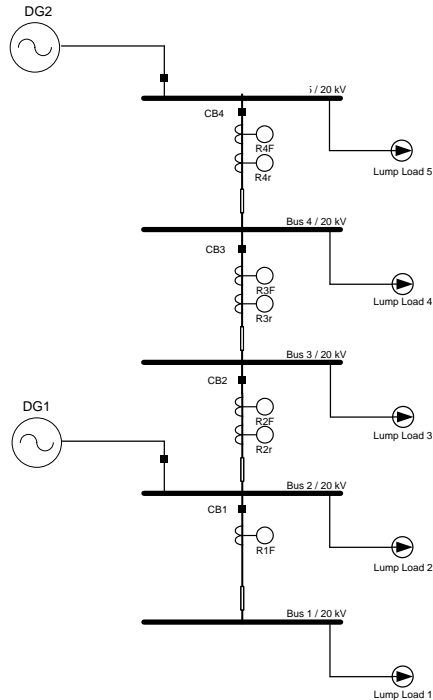
Pada kondisi ini, jaringan mendapat 3 sumber yaitu Grid , DG1 dan DG2 dengan sumber utama adalah Grid. Gambar 3.2 menampilkan topologi jaringan tersebut.



Gambar 3.2 Jaringan Terhubung Grid dan DG 1,2 Berstatus *On*

3.2.2 Jaringan Tidak Terhubung Grid dan DG 1,2 Berstatus *On* (*Islanding*)

Pada kondisi ini, jaringan mendapat 2 sumber yaitu DG1 dan DG2 Gambar 3.3 menampilkan topologi jaringan tersebut.

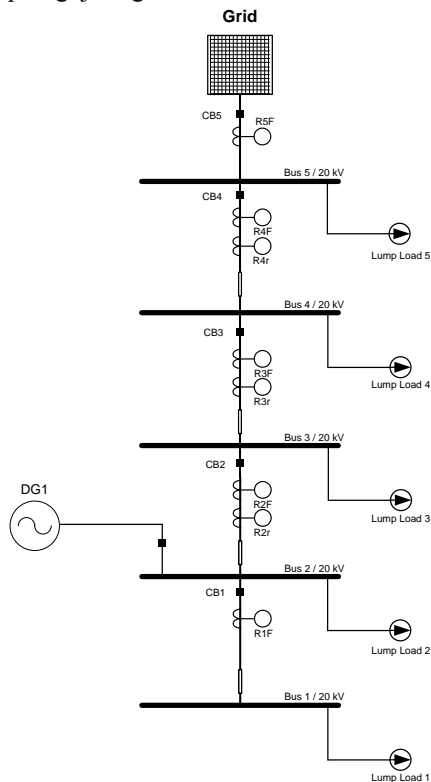


Gambar 3.3 Jaringan Tidak Terhubung Grid dan DG 1,2 Berstatus *On* (*Islanding*)

3.2.3 Jaringan Terhubung Grid dan Hanya DG 1 Berstatus *On* Sedangkan DG 2 *Off*

Pada kondisi ini, jaringan mendapat 2 sumber yaitu Grid dan DG1 dalam konfigurasi ini, jika terjadi gangguan pada salah satu bus diantara Grid dan DG1, maka perlu diperhatikan arus kontribusi yang

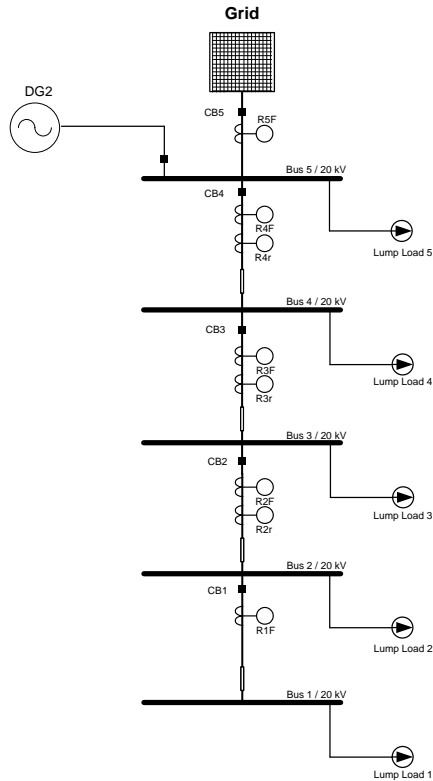
menuju bus tersebut berbeda dengan kondisi pada 3.2.4. Gambar 3.4 menampilkan topologi jaringan tersebut.



Gambar 3.4 Jaringan Terhubung Grid dan Hanya DG 1 Berstatus *On* Sedangkan DG 2 *Off*

3.2.4 Jaringan Terhubung Grid dan Hanya DG 2 Berstatus *On* Sedangkan DG 1 *Off*

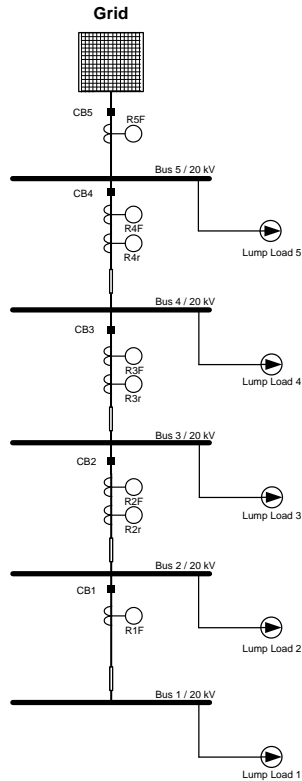
Pada kondisi ini, jaringan mendapat 2 sumber yaitu Grid dan DG2. Gambar 3.5 menampilkan topologi jaringan tersebut.



Gambar 3.5 Jaringan Terhubung Grid dan Hanya DG 2 Berstatus *On* Sedangkan DG 1 *Off*

3.2.5 Jaringan Terhubung Grid dan DG 1, 2 Berstatus *Off*

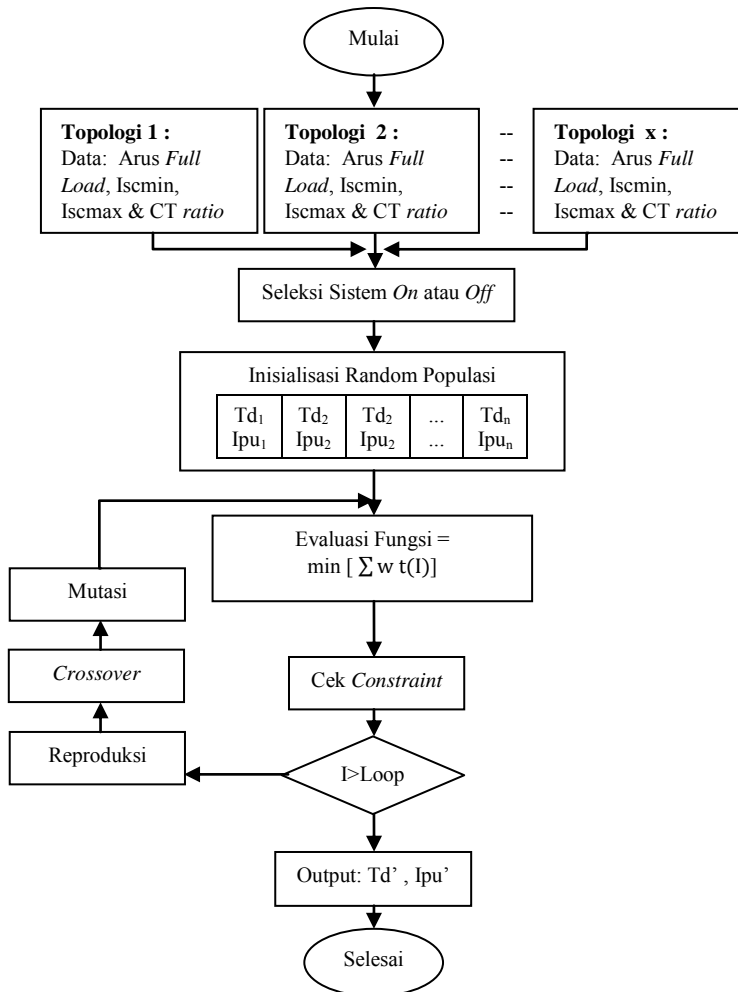
Pada kondisi ini, jaringan mendapat 1 sumber yaitu Grid . Kondisi ini merupakan kondisi saluran distribusi pada umumnya. Beban mendapat sumber yang berasal dari grid utama. Hal ini berpengaruh terhadap koordinasi proteksi dikarenakan jika terjadi gangguan, arus kontribusi mengalir dari sumber menuju gangguan. Gambar 3.6 menampilkan topologi jaringan tersebut.



Gambar 3.6 Jaringan Terhubung Grid dan DG 1, 2 Berstatus *Off*

3.3 Perancangan Koordinasi Proteksi Adaptif dengan Algoritma Genetika

Dalam koordinasi proteksi menggunakan algoritma genetika, dilakukan beberapa langkah dalam penerapan algoritma ini kedalam koordinasi rele arus lebih. Dibawah ini akan ditampilkan flowchart penerapan algoritma genetika pada koordinasi rele arus lebih *digital*.



Gambar 3.7 Flowchart algoritma genetika untuk koordinasi proteksi

Flowchart pada gambar 3.7 merupakan langkah-langkah kerja algoritma genetika dalam menemukan solusi permasalahan koordinasi proteksi

rele berdasarkan *continuous genetic algorithm optimization* [5]. Penjelasan urutan bagian dari *flowchart* adalah sebagai berikut:

1. Langkah pertama adalah melakukan sejumlah input data yaitu arus beban penuh yang melewati tiap rele, rasio *current transformer* yang digunakan serta data arus hubung singkat minimal dan maksimal yang melewati rele. Data didapat dari simulasi dengan menggunakan ETAP 11.0.0. Terdapat beberapa data dari konfigurasi topologi yang berbeda. Data-data akan mempunyai status *On/Off* tergantung topologi yang sedang aktif dengan mengelompokkan matriks data pada sejumlah *id* yang berbeda.
2. Langkah kedua adalah membangkitkan sejumlah data awal yang berupa nilai TD (*Time dial*) dan Arus *pickup* (Ipu). Pembangkitan nilai data-data awal ini dilakukan secara random dengan batas-batas yang telah ditentukan. Dalam algoritma genetika nilai TD dan Ipu dikelompokkan dalam suatu kromosom dimana jumlah TD beserta Ipu berjumlah sama dengan jumlah rele yang akan dihitung. Adapun batasan dari nilai TD dan Arus *pickup* atau sering disebut *constraint* berdasarkan referensi [4] adalah:
 - $0,05 \leq Td \leq 1,2$
 - $1,05 \times \text{Arus Full Load} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times \text{Arus Full load}$
3. Langkah ketiga adalah mengevaluasi nilai hasil random kedalam fungsi objektif yaitu:

$$\text{Min } J = \sum_{i=1}^n w_i t_i$$

Dimana n adalah jumlah rele, t_i adalah waktu operasi rele saat gangguan sedangkan w_i . Tujuan dari persamaan fungsi tujuan adalah meminimalkan jumlah waktu operasi rele utama.

4. Langkah empat adalah memeriksa nilai-nilai dari hasil evaluasi dengan *constraint* yang telah ditentukan. Adapun *constraint* dalam koordinasi proteksi berdasarkan referensi [4] ini adalah :
 - a. Selisih waktu kerja rele backup – rele utama saat gangguan pada bus yang sama atau sering disebut

coordination time interval (CTI) harus lebih besar dari 0.2 s. Bila T_{nk} merupakan waktu operasi rele backup pertama R_n dari gangguan bus k dan T_{ik} merupakan waktu operasi rele utama R_i maka:

$$\blacksquare T_{nk} - T_{ik} - CTI \geq 0$$

- b.** Waktu minimal operasi rele adalah 0.1 s.
5. Langkah kelima yaitu reproduksi. Pada tahap ini, setelah didapat hasil *fitness* setelah evaluasi dilakukan, maka perlu ditentukan peringkat *fitness* berdasarkan bobot dari tiap *fitness* tersebut dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P(Cn) = \frac{Nkeep - n + 1}{\sum_{i=1}^{Nkeep} i} \quad 3.1$$

Dimana *Nkeep* adalah jumlah ranking serta *n* adalah urutan ranking yang dihitung. Sehingga dalam persamaan tersebut akan dihasilkan angka posisi kemungkinan kromosom berada.

6. Langkah selanjutnya adalah *crossover*. Adapun persamaan yang digunakan untuk menentukan kawin silang adalah:

$$x_{new} = (1 - \beta)x_m + \beta x_d \quad 3.2$$

7. Proses diatas akan berlangsung selama $I > Loop$, dimana *Loop* merupakan jumlah iterasi yang telah ditentukan sedangkan *I* merupakan variabel yang tiap iterasi bertambah 1 nilainya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

Hasil Simulasi dan Analisa

4.1 Analisa Hubung Singkat

Dalam menghitung arus hubung singkat pada jaringan distribusi radial, dilakukan dengan menggunakan *software* simulasi yaitu ETAP . Simulasi hubung singkat minimal dan maksimal ketika 30 cycle dilakukan dengan mempertimbangkan 5 kondisi yang berbeda tersebut yaitu:

- a. Kondisi Hanya Terhubung *Grid* (kondisi 1)
- b. Kondisi *Islanding* (kondisi 2)
- c. Kondisi Terhubung *Grid* dan DG 1,2 (kondisi 3)
- d. Kondisi Terhubung *Grid* dan DG 2 (kondisi 4)
- e. Kondisi Terhubung *Grid* dan DG 1 (kondisi 5)

Hasil simulasi hubung singkat ditampilkan pada tabel-tabel 4.1 – 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.1 Arus hubung singkat tiap bus ketika kondisi hanya terhubung dengan *Grid*

No	Bus	Tegangan (KV)	Isc min (kA)	Isc max (kA)
1	Bus 1	20	4,75	5,48
2	Bus 2	20	4,91	5,67
3	Bus 3	20	5,63	6,50
4	Bus 4	20	5,96	6,89
5	Bus 5	20	6,22	7,19

Tabel 4.2 Arus hubung singkat tiap bus ketika kondisi *Islanding*

No	Bus	Tegangan (KV)	Isc min (kA)	Isc max (kA)
1	Bus 1	20	2,04	1,95
2	Bus 2	20	1,04	1,97
3	Bus 3	20	2,06	1,97
4	Bus 4	20	2,07	1,02
5	Bus 5	20	2,07	1,97

Tabel 4.3 Arus hubung singkat tiap bus ketika kondisi terhubung dengan *Grid* dan DG 1,2

No	Bus	Tegangan (KV)	Isc min (kA)	Isc max (kA)
1	Bus 1	20	6,31	6,91
2	Bus 2	20	6,60	7,21
3	Bus 3	20	7,52	8,23
4	Bus 4	20	6,96	8,72
5	Bus 5	20	8,32	9,10

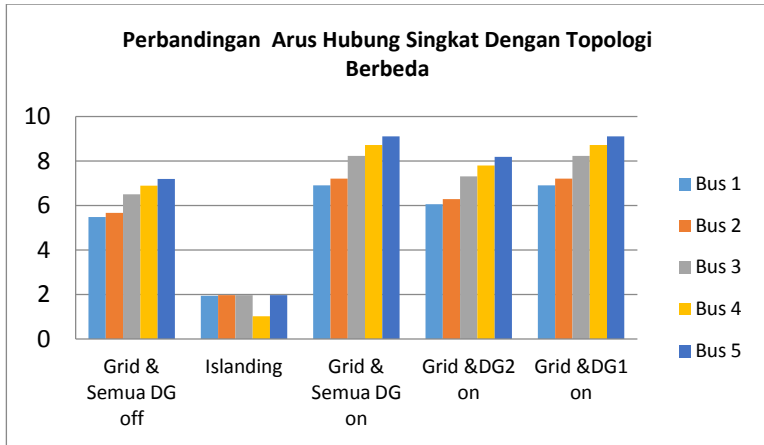
Tabel 4.4 Arus hubung singkat tiap bus ketika kondisi terhubung dengan *Grid* dan DG 2

No	Bus	Tegangan (KV)	Isc min (kA)	Isc max (kA)
1	Bus 1	20	5,37	6,05
2	Bus 2	20	5,59	6,29
3	Bus 3	20	5,52	7,31
4	Bus 4	20	6,97	7,80
5	Bus 5	20	7,32	8,19

Tabel 4.5 Arus hubung singkat tiap bus ketika kondisi terhubung dengan *Grid* dan DG 1

No	Bus	Tegangan (KV)	Isc min (kA)	Isc max (kA)
1	Bus 1	20	6,31	6,91
2	Bus 2	20	6,60	7,21
3	Bus 3	20	7,52	8,23
4	Bus 4	20	7,97	8,72
5	Bus 5	20	8,32	9,10

Dari tabel 4.1 – 4.5 dapat dilihat bahwa arus hubung singkat tiap bus dengan beberapa kondisi menghasilkan nilai yang berbeda. Maka dari itu, dalam analisa selanjutnya akan dibahas pengaruh perbedaan tersebut terhadap koordinasi proteksi. Dalam hasil simulasi dapat dilihat bahwa status *distributed generator* yang terhubung dengan jaringan *grid* mempengaruhi besar arus gangguan pada tiap bus.



Gambar 4.1 Arus hubung singkat pada bus dengan konfigurasi jaringan yang berbeda

4.2 Arus Kontribusi Hubung Singkat pada Tiap Rele

Adapun tujuan dari mengetahui nilai arus kontribusi hubung singkat yang melewati rele adalah sebagai data masukan untuk menghitung setting arus *lowset* dan *highset* pada program simulasi koordinasi proteksi *adaptif*. Data arus hubung singkat maksimal dipergunakan dalam perhitungan *lowset* yaitu pada kurva karakteristik invers. Sedangkan data arus hubung singkat minimal diambil dari arus yang melewati rele utama saat gangguan pada bus paling dekat dengan rele tersebut dan digunakan dalam perhitungan *highset* yaitu $0,8 I_{scmin}$. Jenis nilai arus kontribusi hubung singkat maksimal yang dimasukan pada program simulasi berdasarkan [2] terdiri dari 2 jenis yaitu:

- Arus kontribusi yang melewati rele utama.
- Arus kontribusi yang melewati rele *backup*.

Arus kontribusi rele utama diambil dari arus yang melewati rele utama saat gangguan pada bus paling dekat dengan rele. Sedangkan arus kontribusi pada rele *backup* yang diambil dari data adalah arus kontribusi melewati rele yang terletak dibelakang rele utama saat gangguan pada bus paling dekat dengan rele utama. Pada tabel 4.6 – 4.17 ditampilkan arus kontribusi yang melewati rele ketika gangguan pada bus-bus.

4.3.1 Data Arus Kontribusi yang Melewati Rele Saat Hubung Singkat pada Bus Ketika Jaringan Hanya Terhubung Grid dan Distributed Generator dalam Keadaan Terputus.

Tabel 4.6 Arus kontribusi hubung singkat maksimal

Bus Gangguan	Arus Kontribusi melewati rele (kA)							
	Rele <i>forward</i>					Rele <i>reverse</i>		
	R1	R2	R3	R4	R5	R4	R3	R2
1	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48	-	-	-
2	-	5,67	5,67	5,67	5,67	-	-	-
3	-	-	6,5	6,5	6,5	-	-	-
4	-	-	-	6,89	6,89			
5	-	-	-	-	7,19			

Tabel 4.7 Arus kontribusi hubung singkat minimum

Bus Gangguan	Arus Kontribusi yang melewati rele (kA)							
	Rele <i>forward</i>					Rele <i>reverse</i>		
	R1	R2	R3	R4	R5	R4	R3	R2
1	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	-	-	-
2	-	4,91	4,91	4,91	4,91	-	-	-
3	-	-	5,63	5,63	5,63	-	-	
4	-	-	-	5,96	5,96	-		
5	-	-	-	-	6,22			

4.3.2 Data Arus Kontribusi yang Melewati Rele Saat Hubung Singkat pada Bus Saat Kondisi Jaringan *Islanding*

Tabel 4.8 Arus kontribusi hubung singkat maksimal

Bus Gangguan	Arus Kontribusi yang melewati rele (kA)							
	Rele <i>forward</i>					Rele <i>reverse</i>		
	R1	R2	R3	R4	R5	R4	R3	R2
1	2,04	1,03	1,03	1,03	-	-	-	-
2	-	1,04	1,04	1,04	-	-	-	-
3	-	-	1,07	1,07	-	-	-	0,998
4	-	-	-	1,08	-	-	0,989	0,989
5	-	-	-	-	-	0,982	0,982	0,982

Tabel 4.9 Arus kontribusi hubung singkat minimal

Bus Gangguan	Arus Kontribusi yang melewati rele (kA)						
	Rele <i>forward</i>				Rele <i>reverse</i>		
	R1	R2	R3	R4	R4	R3	R2
1	1,95	0,986	0,986	0,986	-	-	-
2	-	0,997	0,997	0,997	-	-	-
3	-	-	1,02	1,02	-	-	0,952
4	-	-	-	1,02	-	0,945	0,945
5	-	-	-	-	0,94	0,94	0,94

4.3.3 Data Arus Kontribusi yang Melewati Rele saat Hubung Singkat pada Bus Ketika Jaringan Hanya Terhubung *Grid* dan DG 1,2 Tersambung dengan *Grid*

Tabel 4.10 Arus kontribusi hubung singkat maksimal

Bus Gangguan	Arus Kontribusi yang melewati rele (kA)							
	Rele <i>forward</i>					Rele <i>reverse</i>		
	R1	R2	R3	R4	R5	R4	R3	R2
1	6,91	6,02	6,02	6,02	5,29	-	-	-
2	-	6,29	6,29	6,29	5,52	-	-	-
3	-	-	7,31	7,31	6,42	-	-	0,952
4	-	-	-	7,8	6,85	-	0,945	0,945
5	-	-	-	-	7,19	0,94	0,94	0,94

Tabel 4.11 Arus kontribusi hubung singkat minimal

Bus Gangguan	Arus Kontribusi yang melewati rele (kA)							
	Rele <i>forward</i>					Rele <i>reverse</i>		
	R1	R2	R3	R4	R5	R4	R3	R2
1	6,31					-	-	-
2	-	5,59				-	-	-
3	-	-	6,51			-	-	1,06
4	-	-	-	6,96		-	1,05	
5	-	-	-	-	6,23	1,04		

4.3.4 Data Arus Kontribusi yang Melewati Rele saat Hubung Singkat pada Bus Ketika Jaringan Hanya Terhubung *Grid* dan DG 2 Tersambung dengan *Grid*

Tabel 4.12 Arus kontribusi hubung singkat maksimal

Bus Gangguan	Arus Kontribusi yang melewati rele (kA)							
	Rele <i>forward</i>					Rele <i>reverse</i>		
	R1	R2	R3	R4	R5	R4	R3	R2
1	6,05	6,05	6,05	6,05	5,32	-	-	-
2	-	6,29	6,29	6,29	5,52	-	-	-
3	-	-	7,31	7,31	6,42	-	-	-
4	-	-	-	7,8	6,85	-	-	-
5	-	-	-	-	7,19	-	-	-

Tabel 4.13 Arus kontribusi hubung singkat minimal

Bus Gangguan	Arus Kontribusi yang melewati rele (kA)							
	Rele <i>forward</i>					Rele <i>reverse</i>		
	R1	R2	R3	R4	R5	R4	R3	R2
1	5,37					-	-	-
2	-	5,59				-	-	-
3	-	-	6,52			-	-	-
4	-	-	-	6,97		-		
5	-	-	-	-	6,23			

4.3.5 Data Arus Kontribusi yang Melewati Rele saat Hubung Singkat pada Bus Ketika Jaringan Hanya Terhubung *Grid* dan DG 1 Tersambung dengan *Grid*

Tabel 4.14 Arus kontribusi hubung singkat maksimal

Bus Gangguan	Arus Kontribusi yang melewati rele (kA)							
	Rele <i>forward</i>					Rele <i>reverse</i>		
	R1	R2	R3	R4	R5	R4	R3	R2
1	6,34	5,45				-	-	-
2	-	5,67	5,67			-	-	-
3	-	-	6,5	6,5	-	-	-	0,952
4	-	-	-	6,89	6,89	-	0,945	0,945
5	-	-	-	-	7,19	0,94	0,94	0,94

Tabel 4.15 Arus kontribusi hubung singkat minimal

Bus Gangguan	Arus Kontribusi yang melewati rele (kA)							
	Rele <i>forward</i>					Rele <i>reverse</i>		
	R1	R2	R3	R4	R5	R4	R3	R2
1	5,7					-	-	-
2	-	4,92				-	-	-
3	-	-	5,63			-	-	1,06
4	-	-	-	5,97		-	1,05	
5	-	-	-	-	6,23	1,05		

4.3 Koordinasi Proteksi Menggunakan Perhitungan Manual

Perhitungan manual koordinasi proteksi digunakan sebagai pembandingan dengan hasil perhitungan koordinasi proteksi melalui program di matlab. Secara singkat, koordinasi proteksi dengan perhitungan manual dilakukan dengan terlebih dahulu menghitung setelan *lowset* yang berguna sebagai proteksi sistem ketika terjadi gangguan beban lebih atau *overload*. Dilanjutkan dengan perhitungan setelan *highset* yang berperan sebagai bagian proteksi ketika terjadi hubung singkat. Seringkali hasil plot pada ETAP *star view simulation* yang berupa kurva karakteristik rele *invers* dan *instan* terjadi tabrakan antar kurva yang berakibat dapat menyebabkan koordinasi yang salah antara rele utama dengan rele *backup*, sehingga perlu dilakukan penggeseran kurva. Terdapat beberapa kondisi yang akan dikoordinasikan dengan perhitungan manual yaitu:

- Ketika kondisi jaringan hanya terhubung *grid*.
- Ketika kondisi jaringan *islanding*.
- Ketika kondisi jaringan terhubung *grid* dan DG1,2.
- Ketika kondisi jaringan terhubung *grid* dan DG2
- Ketika kondisi jaringan terhubung *grid* dan DG1

4.3.1 Koordinasi Proteksi Saat Jaringan Hanya Terhubung Grid

❑ Rele R1F

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
Kurva Type	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 4,75 kA
Isc max kontribusi	: 5,48 kA
FLA	: 66,4
CT Ratio	: 120 / 1

➤ Low Set Current Setting (I>)

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 66,4 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 66,4 \\
 69,72 &\leq I_{pp} \leq 92,96 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 70 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{70}{120} = 0,583$$

➤ Time Dial

Dipilih waktu operasi (top) = 0,1

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,1 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,06$$

➤ High Set Current Setting (I>>)

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$I_{set} \leq 0,8 \times 4750$$

$$I_{set} \leq 3 \text{ A}$$

Dipilih Iset = 3800 A

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{3800}{120} = 31,66$$

❑ **Rele R2F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
Kurva Type	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 4,91 kA
Isc max kontribusi	: 5,67 kA
FLA	: 124,14
CT Ratio	: 150 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 124,14 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 124,14 \\
 130,35 &\leq I_{pp} \leq 173,80 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 131 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{131}{150} = 0,87$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,3

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,3 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{3} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,17$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$I_{set} \leq \quad \text{in}$$

$$I_{set} \leq 9$$

$$I_{set} \leq 392 \text{ A}$$

$$\text{Dipilih } I_{set} = 3928 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{3928}{150} = 26,18$$

❑ **Rele R3F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
Kurva Type	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 5,6 kA
Isc max kontribusi	: 6,5 kA
FLA	: 167,66
CT Ratio	: 200 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 167,66 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 167,66 \\
 176,05 &\leq I_{pp} \leq 234,72 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 176 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{176}{200} = 0,88$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,5

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,5 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,27$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$I_{set} \leq \quad \text{in}$$

$$I_{set} \leq \quad$$

$$I_{set} \leq \quad \text{A}$$

Dipilih Iset = 4480 A

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{4480}{200} = 22,4$$

❑ **Rele R4F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
Kurva Type	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 5,96 kA
Isc max kontribusi	: 6,89 kA
FLA	: 226,04
CT Ratio	: 300 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 226,04 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 226,04 \\
 237,34 &\leq I_{pp} \leq 316,45 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 240 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{240}{300} = 0,8$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,7

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{9}{2} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,7 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{9}{2} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,35$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$\begin{aligned}
 I_{set} &\leq I_n \\
 I_{set} &\leq 5960 \\
 I_{set} &\leq 768 \text{ A} \\
 \text{Dipilih } I_{set} &= 4768 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{4768}{300} = 15,9$$

❑ **Rele R5F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
Kurva Type	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 6,22 kA
Isc max kontribusi	: 7,19 kA
FLA	: 301,68
CT Ratio	: 400 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 301,68 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 301,68 \\
 316,8 &\leq I_{pp} \leq 422,35 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 318 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{318}{400} = 0,8$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,9

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,9 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{9}{3} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,41$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$\begin{aligned}
 I_{set} &\leq I_n \\
 I_{set} &\leq 6220 \\
 I_{set} &\leq 976 \text{ A} \\
 \text{Dipilih } I_{set} &= 4976 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{4976}{400} = 12,44$$

4.3.2 Koordinasi Proteksi Saat Jaringan *Islanding*

❑ **Rele R1F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
<i>Kurva Type</i>	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 1,95 kA
Isc max kontribusi	: 2,04 kA
FLA	: 66,4
CT Ratio	: 120 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I_>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 66,4 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 66,4 \\
 69,72 &\leq I_{pp} \leq 92,96 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 70 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{70}{120} = 0,583$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,1

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,1 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{2}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,05$$

➤ **High Set Current Setting (I_{>>})**

$$\begin{aligned}
 I_{set} &\leq \quad \text{in} \\
 I_{set} &\leq \quad 9 \\
 I_{set} &\leq \quad \text{A} \\
 \text{Dipilih } I_{set} &= 1560 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{1560}{120} = 13$$

❑ **Rele R2F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
Kurva Type	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 0,997 kA
Isc max kontribusi	: 1,04 kA
FLA	: 124,14
CT Ratio	: 150 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 124,14 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 124,14 \\
 130,35 &\leq I_{pp} \leq 173,80 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 131 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{131}{150} = 0,87$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,3

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,3 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{3} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,09$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$I_{set} \leq \quad \text{in}$$

$$I_{set} \leq 99$$

$$I_{set} \leq 9$$

Dipilih Iset = 797,6 A

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{797,6}{150} = 5,31$$

❑ **Rele R3F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
Kurva Type	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 1,02 kA
Isc max kontribusi	: 1,07 kA
FLA	: 167,66
CT Ratio	: 200 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 167,66 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 167,66 \\
 176,05 &\leq I_{pp} \leq 234,72 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 176 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{176}{200} = 0,88$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,5

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,5 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,13$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$\begin{aligned}
 I_{set} &\leq I_n \\
 I_{set} &\leq 0,8 \times 1020 \\
 I_{set} &\leq 816 \text{ A} \\
 \text{Dipilih } I_{set} &= 816 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{816}{200} = 4,08$$

❑ **Rele R4F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
Kurva Type	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 1,02 kA
Isc max kontribusi	: 1,08 kA
FLA	: 226,04
CT Ratio	: 300 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 226,04 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 226,04 \\
 237,34 &\leq I_{pp} \leq 316,45 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 240 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{240}{300} = 0,8$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,7

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,7 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{2} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,15$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$I_{set} \leq \quad \text{in}$$

$$I_{set} \leq 2$$

$$I_{set} \leq \quad \text{A}$$

Dipilih Iset = 816 A

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{816}{300} = 2,72$$

❑ **Rele R2r**

Manufaktur : ABB
Model : REX 521
Kurva Type : IEEE normal invers
Isc min kontribusi : 0,94 kA
Isc max kontribusi : 0,998 kA
FLA : -
CT Ratio : 200 / 1

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$I_{set} \leq \quad \text{in}$
 $I_{set} \leq 9$
 $I_{set} \leq 2 \text{ A}$
Dipilih $I_{set} = 752 \text{ A}$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{752}{200} = 3,76$$

❑ **Rele R3r**

Manufaktur : ABB
Model : REX 521
Kurva Type : IEEE normal invers
Isc min kontribusi : 0,945 kA
Isc max kontribusi : 0,989 kA
FLA : -
CT Ratio : 120 / 1

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$I_{set} \leq \quad \text{in}$
 $I_{set} \leq 9$
 $I_{set} \leq \text{A}$
Dipilih $I_{set} = 756 \text{ A}$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{756}{120} = 6,3$$

❑ **Rele R4r**

Manufaktur : ABB
 Model : REX 521
Kurva Type : IEEE normal invers
 Isc min kontribusi : 0,952 kA
 Isc max kontribusi : 0,982 kA
 FLA : -
 CT Ratio : 120 / 1

➤ **High Set Current Setting (I_{>>})**

$I_{set} \leq I_n$
 $I_{set} \leq 9 I_n$
 $I_{set} \leq I_n$
 Dipilih $I_{set} = 762 \text{ A}$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \text{ Primary}} = \frac{762}{120} = 6,35$$

4.3.3 Koordinasi Proteksi Saat Jaringan Terhubung Grid dan DG1,2

❑ **Rele R1F**

Manufaktur : ABB
 Model : REX 521
Kurva Type : IEEE normal invers
 Isc min kontribusi : 6,31 kA
 Isc max kontribusi : 6,91 kA
 FLA : 66,4
 CT Ratio : 120 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I_>)**

$1,05 \times FLA \leq I_{pp} \leq 1,4 \times FLA$
 $1,05 \times 66,4 \leq I_{pp} \leq 1,4 \times 66,4$
 $69,72 \leq I_{pp} \leq 92,96$
 Dipilih $I_{pp} = 70 \text{ A}$

$$Tap = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{70}{120} = 0,583$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,1

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,1 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{9}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,07$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$\text{Iset} \leq \text{in}$$

$$\text{Iset} \leq 6310$$

$$\text{Iset} \leq \text{A}$$

Dipilih Iset = 5048 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT Primary}} = \frac{5048}{120} = 42,06$$

❑ **Relé R2F**

Manufaktur : ABB

Model : REX 521

Kurva Type : IEEE normal invers

Isc min kontribusi : 5,590 kA

Isc max kontribusi : 6,050 kA

FLA : 124,14

CT Ratio : 150 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$1,05 \times \text{FLA} \leq \text{Ipp} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 124,14 \leq \text{Ipp} \leq 1,4 \times 124,14$$

$$130,35 \leq \text{Ipp} \leq 173,80$$

$$\text{Dipilih Ipp} = 131 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{\text{Ipp}}{\text{CT Primary}} = \frac{131}{150} = 0,87$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,3

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{3} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,3 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{3} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,17$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$\text{Iset} \leq \quad \text{in}$$

$$\text{Iset} \leq 9$$

$$\text{Iset} \leq 2$$

Dipilih Iset = 4472 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT Primary}} = \frac{4472}{150} = 29,8$$

❑ **Rele R3F**

Manufaktur : ABB

Model : REX 521

Kurva Type : IEEE normal invers

Isc min kontribusi : 6,51 kA

Isc max kontribusi : 7,31 kA

FLA : 167,66

CT Ratio : 200 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$1,05 \times \text{FLA} \leq \text{Ipp} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 167,66 \leq \text{Ipp} \leq 1,4 \times 167,66$$

$$176,05 \leq \text{Ipp} \leq 234,72$$

$$\text{Dipilih Ipp} = 176 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{\text{Ipp}}{\text{CT Primary}} = \frac{176}{200} = 0,88$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,5

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{3}{1} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,5 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{3}{1} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,27$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$I_{\text{set}} \leq I_{\text{in}}$$

$$I_{\text{set}} \leq$$

$$I_{\text{set}} \leq 2 \text{ A}$$

Dipilih Iset = 5208 A

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT Primary}} = \frac{5208}{200} = 26,04$$

❑ **Rele R4F**

Manufaktur : ABB

Model : REX 521

Kurva Type : IEEE normal invers

Isc min kontribusi : 6,96 kA

Isc max kontribusi : 7,8 kA

FLA : 226,04

CT Ratio : 300 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{\text{pp}} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 226,04 \leq I_{\text{pp}} \leq 1,4 \times 226,04$$

$$237,34 \leq I_{\text{pp}} \leq 316,45$$

$$\text{Dipilih } I_{\text{pp}} = 240 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{pp}}}{\text{CT Primary}} = \frac{240}{300} = 0,8$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,7

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{2} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,7 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{2} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,36$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$\text{Iset} \leq \quad \text{in}$$

$$\text{Iset} \leq 9$$

$$\text{Iset} \leq \text{A}$$

Dipilih Iset = 5568 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT Primary}} = \frac{5568}{300} = 18,56$$

❑ **Rele R5F**

Manufaktur : ABB

Model : REX 521

Kurva Type : IEEE normal invers

Isc min kontribusi : 6230 kA

Isc max kontribusi : 7190 kA

FLA : 301,68

CT Ratio : 400 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$1,05 \times \text{FLA} \leq \text{Ipp} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 301,68 \leq \text{Ipp} \leq 1,4 \times 301,68$$

$$316,8 \leq \text{Ipp} \leq 422,35$$

$$\text{Dipilih Ipp} = 318 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{\text{Ipp}}{\text{CT Primary}} = \frac{318}{400} = 0,8$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,9

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{9}{3} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,9 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{9}{3} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,41$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$\text{Iset} \leq 8 \times \text{Isc min}$$

$$\text{Iset} \leq 6230$$

$$\text{Iset} \leq 984 \text{ A}$$

Dipilih Iset = 4984 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT Primary}} = \frac{4984}{400} = 12,46$$

❑ **Rele R2r**

Manufaktur : ABB

Model : REX 521

Kurva Type : IEEE normal invers

Isc min kontribusi : 1,06 kA

Isc max kontribusi : 0,95 kA

FLA : 177,54

CT Ratio : 200 / 1

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$\text{Iset} \leq \text{in}$$

$$\text{Iset} \leq$$

$$\text{Iset} \leq \text{A}$$

Dipilih Iset = 848 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT Primary}} = \frac{848}{200} = 4,24$$

❑ **Rele R3r**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
<i>Kurva Type</i>	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 1,05 kA
Isc max kontribusi	: 0,945 kA
FLA	: 101,9
CT Ratio	: 120 / 1

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$I_{set} \leq \quad \text{in}$$

$$I_{set} \leq$$

$$I_{set} \leq \quad \text{A}$$

Dipilih $I_{set} = 840 \text{ A}$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{840}{120} = 7$$

❑ **Rele R4r**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
<i>Kurva Type</i>	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 1,04 kA
Isc max kontribusi	: 0,94 kA
FLA	: 75,64
CT Ratio	: 120 / 1

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$I_{set} \leq \quad \text{in}$$

$$I_{set} \leq$$

$$I_{set} \leq 32$$

Dipilih $I_{set} = 832 \text{ A}$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{832}{120} = 6,9$$

4.3.4 Koordinasi Proteksi Saat Jaringan Terhubung Grid dan DG2

❑ **Rele R1F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
<i>Kurva Type</i>	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 5,37 kA
Isc max kontribusi	: 6,05 kA
FLA	: 66,4
CT Ratio	: 120 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 66,4 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 66,4 \\
 69,72 &\leq I_{pp} \leq 92,96 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 70 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{70}{120} = 0,583$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,1

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,1 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,06$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$I_{set} \leq I_n$$

$$I_{set} \leq 3$$

$$I_{set} \leq 29 \text{ A}$$

Dipilih Iset = 4296 A

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{4296}{120} = 35,8$$

❑ **Rele R2F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
Kurva Type	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 5,59 kA
Isc max kontribusi	: 6,05 kA
FLA	: 124,14
CT Ratio	: 150 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 124,14 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 124,14 \\
 130,35 &\leq I_{pp} \leq 173,80 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 131 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{131}{150} = 0,87$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,3

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,3 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{3} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,17$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$I_{set} \leq I_n$$

$$I_{set} \leq 5590$$

$$I_{set} \leq 2$$

Dipilih Iset = 4472 A

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{4472}{150} = 29,8$$

❑ **Rele R3F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
Kurva Type	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 6,52 kA
Isc max kontribusi	: 7,31 kA
FLA	: 167,66
CT Ratio	: 200 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 167,66 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 167,66 \\
 176,05 &\leq I_{pp} \leq 234,72 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 176 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{176}{200} = 0,88$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,5

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,5 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{3}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,27$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$\begin{aligned}
 I_{set} &\leq I_n \\
 I_{set} &\leq 20 \\
 I_{set} &\leq 2 \text{ A} \\
 \text{Dipilih } I_{set} &= 5208 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{5216}{200} = 26,08$$

❑ **Rele R4F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
Kurva Type	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 6,97 kA
Isc max kontribusi	: 7,8 kA
FLA	: 226,04
CT Ratio	: 300 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 226,04 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 226,04 \\
 237,34 &\leq I_{pp} \leq 316,45 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 240 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{240}{300} = 0,8$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,7

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,7 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{2} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,36$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$I_{set} \leq \quad \text{in}$$

$$I_{set} \leq 9$$

$$I_{set} \leq \text{A}$$

Dipilih Iset = 5576 A

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{5576}{300} = 18,58$$

❑ **Rele R5F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
Kurva Type	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 6230 kA
Isc max kontribusi	: 7190 kA
FLA	: 301,68
CT Ratio	: 400 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 301,68 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 301,68 \\
 316,8 &\leq I_{pp} \leq 422,35 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 318 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{318}{400} = 0,8$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,9

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{9}{3} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,9 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{9}{3} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,41$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$\begin{aligned}
 I_{set} &\leq I_n \\
 I_{set} &\leq 23 \\
 I_{set} &\leq 9 \text{ A} \\
 \text{Dipilih } I_{set} &= 4984 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{4984}{400} = 12,46$$

4.3.5 Koordinasi Proteksi Saat Jaringan Terhubung *Grid* dan DG1

❑ Rele R1F

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
<i>Kurva Type</i>	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 5,7 kA
Isc max kontribusi	: 6,34 kA
FLA	: 66,4
CT Ratio	: 120 / 1

➤ Low Set Current Setting (I>)

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 66,4 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 66,4 \\
 69,72 &\leq I_{pp} \leq 92,96 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 70 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{70}{120} = 0,583$$

➤ Time Dial

Dipilih waktu operasi (top) = 0,1

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,1 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{3}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,067$$

➤ High Set Current Setting (I>>)

$$I_{set} \leq \quad \text{in}$$

$$I_{set} \leq$$

$$I_{set} \leq \quad \text{A}$$

Dipilih Iset = 4560 A

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{4560}{120} = 38$$

❑ **Rele R2F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
Kurva Type	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 4,92 kA
Isc max kontribusi	: 5,67 kA
FLA	: 124,14
CT Ratio	: 150 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 124,14 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 124,14 \\
 130,35 &\leq I_{pp} \leq 173,80 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 131 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{131}{150} = 0,87$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,3

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,3 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{3} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,167$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$\begin{aligned}
 I_{set} &\leq I_n \\
 I_{set} &\leq 92 \\
 I_{set} &\leq 393 \\
 \text{Dipilih } I_{set} &= 393 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{393}{150} = 2,62$$

❑ **Rele R3F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
Kurva Type	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 5,63 kA
Isc max kontribusi	: 6,5 kA
FLA	: 167,66
CT Ratio	: 200 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 167,66 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 167,66 \\
 176,05 &\leq I_{pp} \leq 234,72 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 176 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{176}{200} = 0,88$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,5

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,5 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,27$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$I_{set} \leq \quad \text{in}$$

$$I_{set} \leq 3$$

$$I_{set} \leq \text{A}$$

Dipilih Iset = 4504 A

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{4504}{200} = 22,52$$

❑ **Rele R4F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
Kurva Type	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 5,97 kA
Isc max kontribusi	: 6,89 kA
FLA	: 226,04
CT Ratio	: 300 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 226,04 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 226,04 \\
 237,34 &\leq I_{pp} \leq 316,45 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 240 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{240}{300} = 0,8$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,7

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{9}{2} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,7 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{9}{2} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,347$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$I_{set} \leq I_n$$

$$I_{set} \leq 9$$

$$I_{set} \leq A$$

Dipilih $I_{set} = 4776 \text{ A}$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{4776}{300} = 15,92$$

❑ **Rele R5F**

Manufaktur	: ABB
Model	: REX 521
Kurva Type	: IEEE normal invers
Isc min kontribusi	: 6230 kA
Isc max kontribusi	: 7190 kA
FLA	: 301,6
CT Ratio	: 400 / 1

➤ **Low Set Current Setting (I>)**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 301,68 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 301,68 \\
 316,8 &\leq I_{pp} \leq 422,35 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 318 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{318}{400} = 0,8$$

➤ **Time Dial**

Dipilih waktu operasi (top) = 0,9

$$\text{top} = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{\quad}{\quad} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$0,9 = \frac{x \text{ td}}{\left[\left(\frac{9}{3} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{td} = 0,41$$

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$$\begin{aligned}
 I_{set} &\leq I_n \\
 I_{set} &\leq 23 \\
 I_{set} &\leq 9 \text{ A} \\
 \text{Dipilih } I_{set} &= 4984 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{4984}{400} = 12,46$$

❑ **Rele R2r**

Manufaktur : ABB
Model : REX 521
Kurva Type : IEEE normal invers
Isc min kontribusi : 1,06 kA
Isc max kontribusi : 0,952 kA
FLA : -
CT Ratio : 200 / 1

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$I_{set} \leq I_n$

$I_{set} \leq$

$I_{set} \leq A$

Dipilih $I_{set} = 848 A$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ Primary}} = \frac{848}{200} = 4,24$$

❑ **Rele R3r**

Manufaktur : ABB
Model : REX 521
Kurva Type : IEEE normal invers
Isc min kontribusi : 1,05 kA
Isc max kontribusi : 0,945 kA
FLA : -
CT Ratio : 120 / 1

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$I_{set} \leq I_n$

$I_{set} \leq$

$I_{set} \leq 840 A$

Dipilih $I_{set} = 840 A$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ Primary}} = \frac{840}{120} = 7$$

❑ **Rele R4r**

Manufaktur : ABB
Model : REX 521
Kurva Type : IEEE normal invers
Isc min kontribusi : 1,05 kA
Isc max kontribusi : 0,94 kA
FLA : -
CT Ratio : 120 / 1

➤ **High Set Current Setting (I>>)**

$I_{set} \leq I_n$

$I_{set} \leq 50$

$I_{set} \leq 40$

Dipilih $I_{set} = 840 \text{ A}$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT Primary}} = \frac{840}{120} = 7$$

4.4 Penerapan Algoritma Genetika Dalam Koordinasi Proteksi Adaptif

Koordinasi proteksi dengan menggunakan algoritma genetika diperlukan karena adanya dua variabel dalam proses perhitungan kurva karakteristik invers rele yang dioptimasi. Dua variabel tersebut adalah Arus *pickup lowset* dan *Time dial*. Berdasarkan persamaan kurva karakteristik rele *invers* terlihat bahwa diantara variabel tersebut terdapat sifat *nonlinier*. Bila dalam sebuah koordinasi nilai arus *pickup lowset* sudah ditetapkan lebih awal, maka permasalahan koordinasi dapat dipecahkan dengan algoritma *linier*. Proses pertama dalam menjalankan program simulasi ini adalah memasukan data-data ke dalam matriks. Sebagai contoh, data ketika kondisi *islanding* dapat diterapkan pada matriks sebagai berikut:

- Arus minimum = [2040 1040 1070 1080 998 989 982]

↓
R1f

↓
R2f

↓
R3f

↓
R4f

↓
R2r

↓
R3r

↓
R4r
- Arus maksimum = [3210 1950 1890 1730 1680 1820 2000]

↓
R1f

↓
R2f

↓
R3f

↓
R4f

↓
R2r

↓
R3r

↓
R4r
- Pasangan rele utama dan backup = [1 2; 2 3; 3 4; 7 6; 6 5;]
Angka 1 2; 2 3; dst merupakan urutan kolom dari rele-rele yang berada pada matriks arus maksimum .
- Arus maksimum ke rele backup = [1910 1810 1700 1820 1700]

↓
R2f

↓
R3f

↓
R4f

↓
R3r

↓
R2r.
- IFL = [66,4 124,14 167,66 226,04 177,54 101,9 75,64]

IFL merupakan Arus *full load* yang melewati rele utama. Urutan matriks dari IFL sama dengan matrik arus maksimum

Dalam algoritma genetika, terdapat parameter-parameter yang diperlukan untuk mencapai suatu nilai tujuan yang konvergen. Sejumlah parameter dimasukan berdasarkan *try and error* , dengan melihat kurva konvergensi dan hasil keluaran. Pada program simulasi ditetapkan nilai-nilai dari parameter tersebut adalah sebagai berikut:

- Maksimal Iterasi = 7000
- Ukuran Populasi = 400
- Rating Mutasi = 0,02
- Seleksi = 0,5

4.5 Hasil dan Analisa Simulasi Koordinasi Proteksi dengan Menggunakan Algoritma Genetika

Simulasi menggunakan program matlab mulai dijalankan setelah memasukan data-data seperti pada 4.3. Terdapat sejumlah kondisi topologi yang dapat dipilih ketika program dijalankan. Kondisi tersebut mewakili status *distributed generator* yaitu *On / Off*. Adapun hasil dari *output* program berupa nilai :

- a. *Tap (Lowset)*
- b. *Time Dial (Lowset)*
- c. *Arus Pickup dalam Ampere (Lowset)*
- d. *Pickup (Highset)*
- e. *Time Delay (Highset)*
- f. *Arus Pickup dalam Ampere (Highset)*

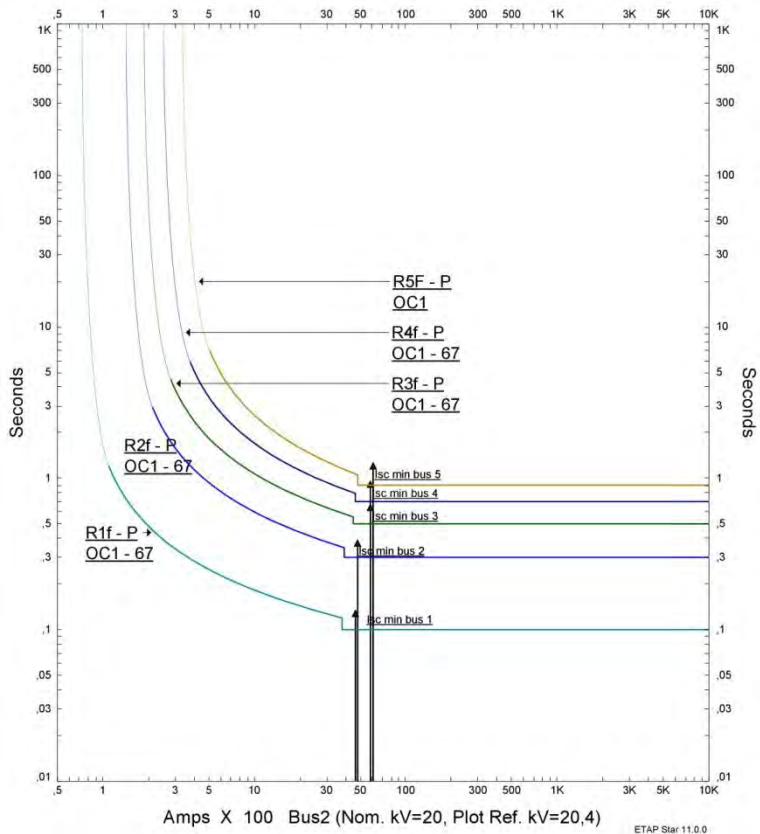
Untuk memastikan bahwa program koordinasi proteksi ini menghasilkan nilai keluaran yang sesuai, maka hasil keluaran program akan dimasukan pada *software* ETAP 11.0.0 dengan memanfaatkan *Star View Simulation* sehingga hasil *output* program dapat di lihat dalam bentuk kurva karakteristik rele.

Dalam analisa selanjutnya, akan dibahas perbandingan dengan menggunakan metode manual untuk penyetelan rele. Adapun hasil *output* program dapat dilihat pada tabel 4.5.1 – 4.5.5.

4.5.1 Hasil Koordinasi saat Jaringan Hanya Terhubung Grid

Tabel 4.16 Tabel Koordinasi Rele

ID Rele	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (A)	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (A)
	<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>		<i>Pickup</i>	<i>Time Delay</i>	
R1f	0,61	0,07	72,81	31,67	0,1	3800
R2f	0,95	0,17	142,63	26,19	0,3	3928
R3f	0,94	0,26	188,26	22,52	0,5	4504
R4f	0,84	0,34	253,49	15,50	0,7	4650
R5f	0,86	0,41	342,57	12,30	0,9	4920



Gambar 4.2 Hasil *plot* setelan rele pada kondisi terhubung *grid*

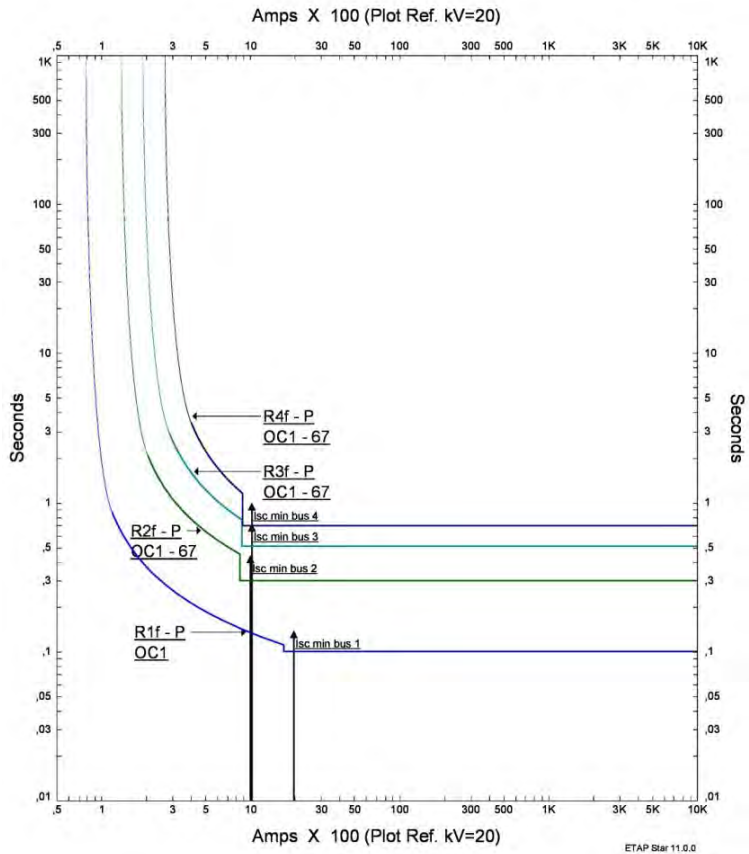
4.5.2 Hasil Koordinasi ketika Kondisi *Islanding*

Tabel 4.17 Tabel Koordinasi Rele

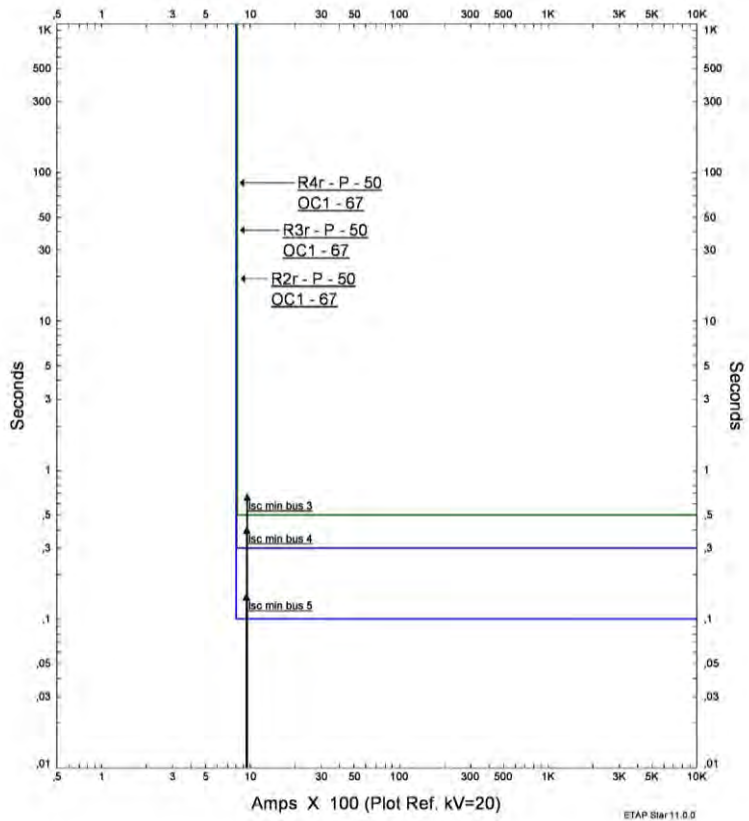
ID Rele	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (A)	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (A)
	<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>		<i>Pickup</i>	<i>Time Delay</i>	
R1f	0,64	0,05	76,42	13,00	0,1	1560
R2f	0,92	0,09	137,48	5,31	0,3	797,6
R3f	0,95	0,13	189,14	4,08	0,5	816
R4f	0,82	0,15	245,23	2,72	0,7	816

Tabel 4.17 Tabel Koordinasi Rele lanjutan

ID Rele	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (A)	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (A)
	<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>		<i>Pickup</i>	<i>Time Delay</i>	
R2r	-	-	-	3,76	0,5	752
R3r	-	-	-	6,30	0,3	756
R4r	-	-	-	6,35	0,1	761,6



Gambar 4.3 Hasil *plot* setelan rele forward pada kondisi *Islanding*



Gambar 4.4 Hasil *plot* setelan rele *reverse* pada kondisi *Islanding*

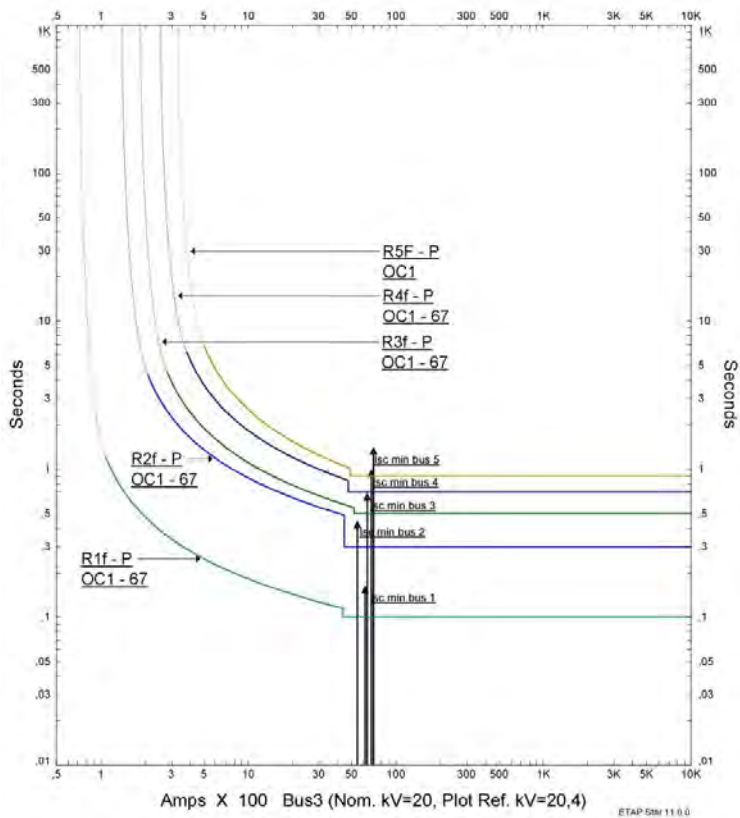
4.5.3 Hasil Koordinasi ketika Kondisi Terhubung Grid dan DG1,2

Tabel 4.18 Tabel Koordinasi Rele

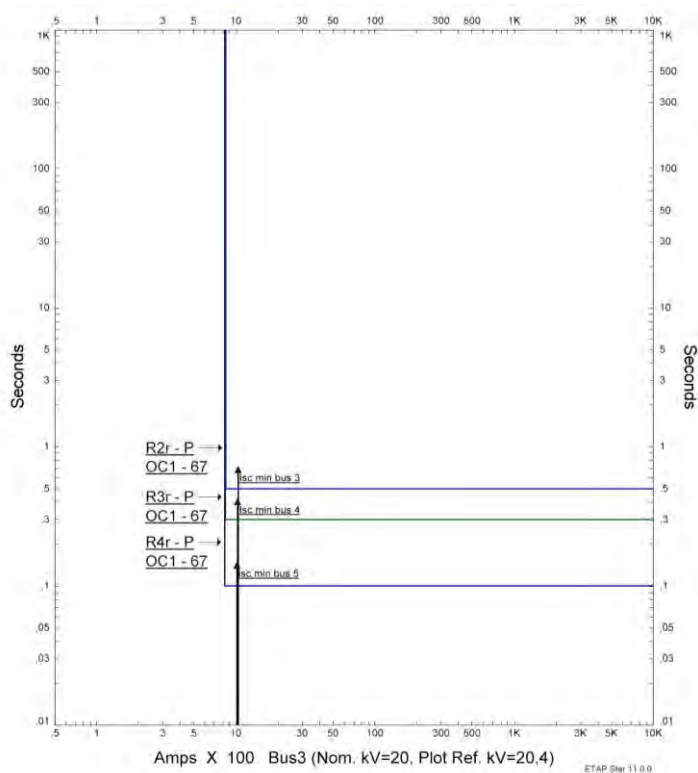
ID Rele	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (A)	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (A)
	<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>		<i>Pickup</i>	<i>Time Delay</i>	
R1f	0,65	0,07	77,75	42,07	0,1	5048
R2f	0,97	0,18	144,77	29,81	0,3	4472
R3f	0,95	0,27	190,76	26,04	0,5	5208
R4f	0,85	0,35	255,57	18,56	0,7	5568

Tabel 4.18 Tabel Koordinasi Rele lanjutan

ID Rele	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (A)	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (A)
	<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>		<i>Pickup</i>	<i>Time Delay</i>	
R5f	0,87	0,43	346,97	12,46	0,9	4984
R2r	-	-	-	4,24	0,5	848
R3r	-	-	-	7	0,3	840
R4r	-	-	-	6,93	0,1	832



Gambar 4.5 Hasil *plot* setelan rele *forward* pada kondisi terhubung Grid dan DG1,2

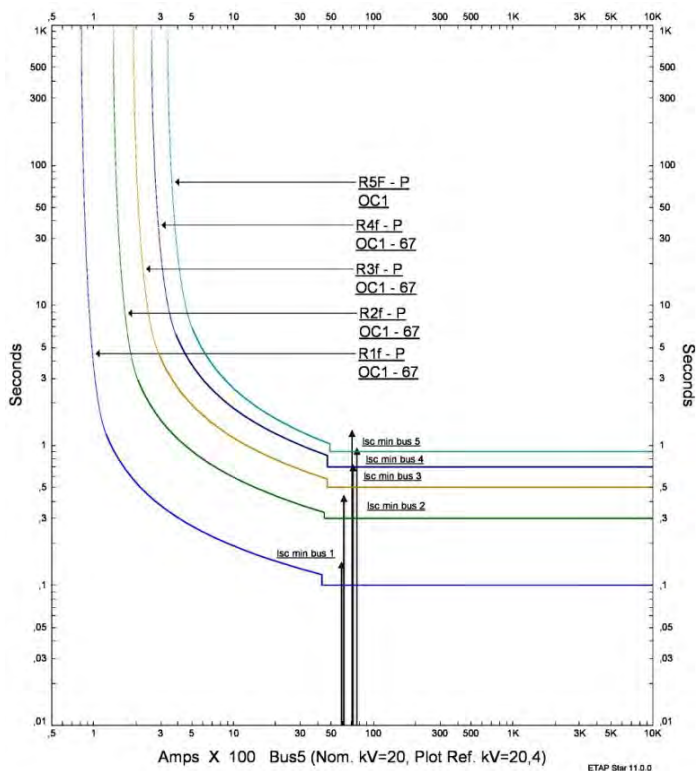


Gambar 4.6 Hasil *plot* setelan rele *reverse* pada kondisi terhubung Grid dan DG1,2

4.5.4 Hasil Koordinasi ketika Kondisi Terhubung Grid dan DG 2

Tabel 4.19 Tabel Koordinasi Rele

ID Rele	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (A)	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (A)
	<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>		<i>Pickup</i>	<i>Time Delay</i>	
R1f	0,65	0,07	77,50	35,80	0,1	4296
R2f	0,92	0,18	137,39	29,81	0,3	4472
R3f	0,96	0,27	192,12	23,48	0,5	4696
R4f	0,86	0,35	257,43	15,65	0,7	4695
R5f	0,86	0,40	345,21	12,46	0,9	4984



Gambar 4.7 Hasil *plot* setelan rele pada kondisi terhubung Grid dan DG2

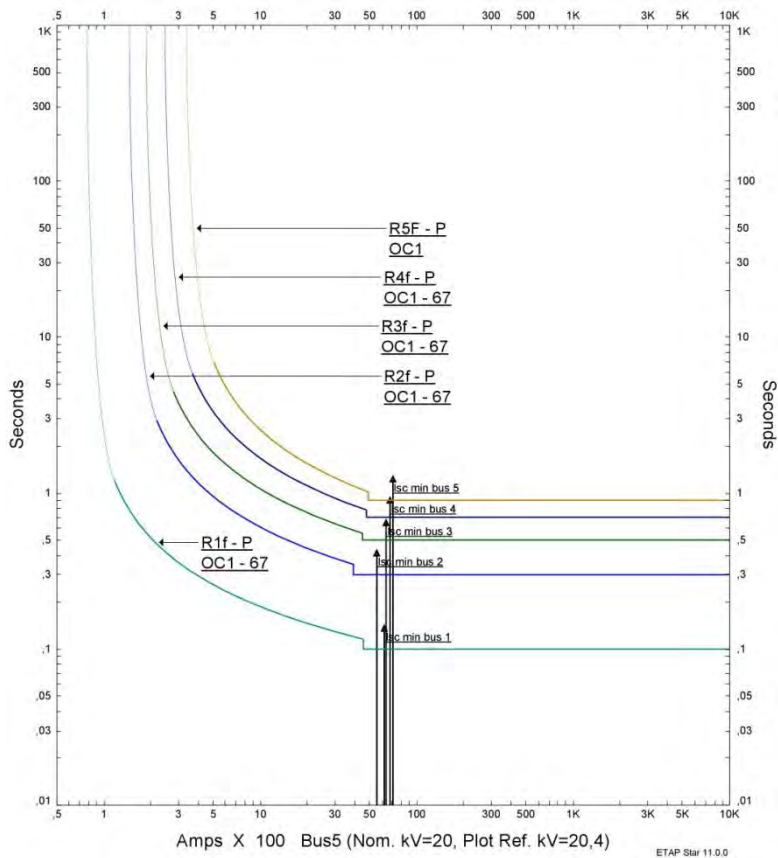
4.5.5 Hasil Koordinasi ketika Kondisi Terhubung Grid dan DG 1

Tabel 4.20 Tabel Koordinasi Rele

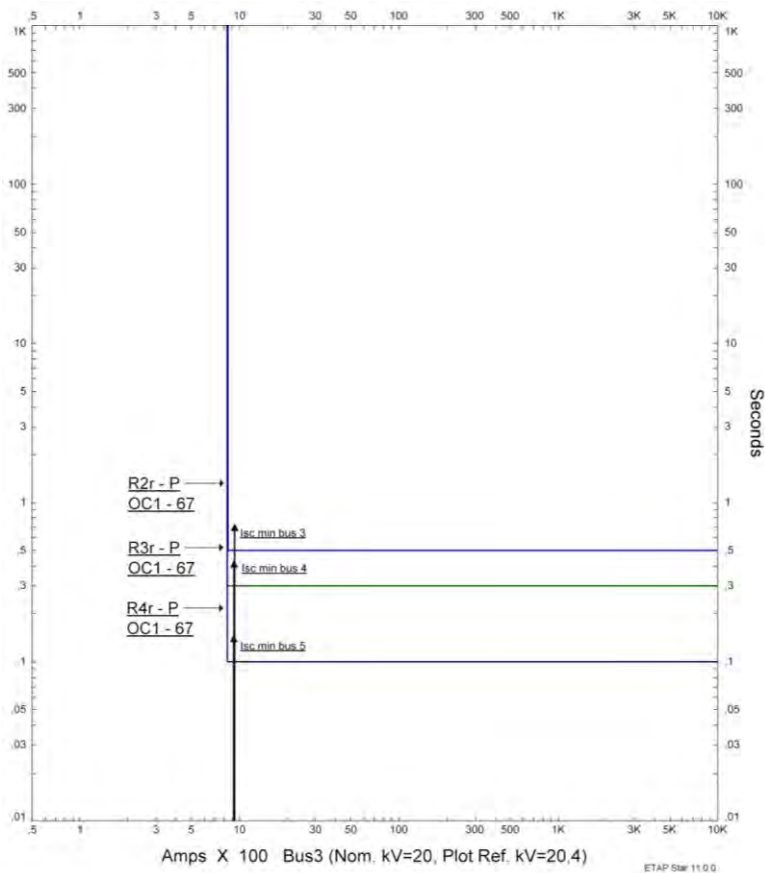
ID Rele	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (A)	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (A)
	<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>		<i>Pickup</i>	<i>Time Delay</i>	
R1f	0,65	0,07	77,82	38,00	0,1	4560
R2f	0,97	0,17	144,96	26,24	0,3	3936
R3f	0,93	0,26	185,32	22,52	0,5	4504
R4f	0,82	0,34	245,52	15,92	0,7	4776
R5f	0,86	0,40	343,59	12,46	0,9	4984

Tabel 4.20 Tabel Koordinasi Rele lanjutan

ID Rele	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (A)	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (A)
	<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>		<i>Pickup</i>	<i>Time Delay</i>	
R2r	-	-	-	4,24	0,5	848
R3r	-	-	-	7,00	0,3	840
R4r	-	-	-	7,00	0,1	840



Gambar 4.8 Hasil *plot* setelan rele *forward* pada kondisi terhubung Grid dan DG1



Gambar 4.9 Hasil *plot* setelan rele *reverse* pada kondisi terhubung Grid dan DG1

Pada hasil pengujian dengan topologi yang berbeda, dapat kita lihat bahwa pada tiap-tiap hasil koordinasi terdapat perbedaan. Perbedaan tersebut dapat mempengaruhi sifat karakteristik syarat dalam pengoperasian rele pengaman. Adapun pengaruh tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Pada kondisi ketika terhubung *grid* rele pengamanan R1f mempunyai nilai arus *pickup* sebesar 3800 A. Sedangkan pada kondisi *islanding* nilai arus *pickup* dari R1f adalah 1560 A. Dalam hal ini, bila saat sistem dioperasikan *islanding* maka arus gangguan terkecil yang mungkin terjadi berdasarkan tabel 4.5.2 bernilai 1950 A. Sehingga bila koordinasi ketika terhubung *grid* diterapkan pada kondisi *islanding* akan menyebabkan sifat sensitivitas dari pengamanan menurun.
- b. Ketika jaringan terhubung *grid* nilai arus *pickup* untuk rele R3f pada tabel adalah sebesar 4504 A. Maka ketika kondisi jaringan berubah menjadi *islanding* nilai arus *pickup* dari koordinasi pada kondisi ini adalah 816 A. Jika koordinasi pada saat *islanding* tetap menggunakan koordinasi terhubung *grid* maka jika terjadi gangguan hubung singkat dengan arus sebesar 1020 A dapat menyebabkan garis gangguan menyentuh kurva *invers* yang semestinya digunakan untuk gangguan beban lebih. Sehingga mengakibatkan sifat kecepatan dari pengamanan berkurang.
- c. Kondisi ketika terhubung *grid* dan DG 2 menyala mempunyai arus *pickup highset* sebesar 4692 A pada rele R3f. Sedangkan arus hubung singkat minimum yang mungkin terjadi pada saat *Islanding* adalah sebesar 1020 A, sehingga ketika koordinasi proteksi pada kondisi terhubung *grid* dan DG 2 diterapkan pada kondisi *islanding* dapat mengakibatkan kerja rele kurang optimal karena arus hubung singkat minimum menabrak pada kurva *invers*.
- d. Koordinasi proteksi pada saat kondisi terhubung *grid* dan DG 1,2 mempunyai penyetelan arus *pickup highset* rele R1f sebesar 5048 A. Sedangkan ketika jaringan dalam kondisi hanya terhubung *grid*, rele R1f mempunyai arus hubung singkat minimum sebesar 4750 A sehingga bila koordinasi pada kondisi awal diterapkan, akan menyebabkan garis arus hubung singkat minimum menabrak kurva *invers* yang berpengaruh terhadap berkurangnya kecepatan kerja rele R1f saat terjadi gangguan hubung singkat minimum.

4.6 Perbandingan Hasil Koordinasi Rele Menggunakan Program dengan Manual

Tabel 4.21 Perbandingan Ketika Kondisi Terhubung *Grid*

ID Rele	Koordinasi Menggunakan Program Algoritma Genetika			Koordinasi Menggunakan Perhitungan Manual		
	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (Ampere)	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (Ampere)
	<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>		<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>	
R1f	0,61	0,07	72,81	0,583	0,06	69,72
R2f	0,95	0,17	142,63	0,87	0,17	131
R3f	0,94	0,26	188,26	0,88	0,27	176
R4f	0,84	0,34	253,49	0,8	0,35	240
R5f	0,86	0,41	342,57	0,8	0,41	318
ID Rele	Koordinasi Menggunakan Program Algoritma Genetika			Koordinasi Menggunakan Perhitungan Manual		
	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (Ampere)	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (Ampere)
	<i>Tap</i>	<i>Time Delay</i>		<i>Tap</i>	<i>Time Delay</i>	
R1f	31,67	0,1	3800	31,66	0,1	3800
R2f	26,19	0,3	3928	26,18	0,3	3928
R3f	22,52	0,5	4504	22,4	0,5	4480
R4f	15,5	0,7	4650	15,9	0,7	4768
R5f	12,3	0,9	4920	12,4	0,9	4976

Tabel 4.22 Perbandingan Ketika Kondisi *Islanding*

ID Rele	Koordinasi Menggunakan Program Algoritma Genetika			Koordinasi Menggunakan Perhitungan Manual		
	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (Ampere)	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (Ampere)
	<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>		<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>	
R1f	0,64	0,05	76,42	0,583	0,05	70
R2f	0,92	0,09	137,48	0,87	0,09	131
R3f	0,95	0,13	189,14	0,88	0,13	176
R4f	0,82	0,15	245,23	0,8	0,15	240

Tabel 4.22 Perbandingan Ketika Kondisi *Islanding* lanjutan

ID Rele	Koordinasi Menggunakan Program Algoritma Genetika			Koordinasi Menggunakan Perhitungan Manual		
	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (Ampere)	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (Ampere)
	<i>Tap</i>	<i>Time Delay</i>		<i>Tap</i>	<i>Time Delay</i>	
R1f	13	0,1	1560	13	0,1	1560
R2f	5,31	0,3	797,6	5,31	0,3	797,6
R3f	4,08	0,5	816	4,08	0,5	816
R4f	2,72	0,7	816	2,72	0,7	816
R2r	3,76	0,5	752	3,76	0,5	752
R3r	6,30	0,3	756	6,3	0,3	756
R4r	6,35	0,1	761,6	6,35	0,1	762

Tabel 4.23 Perbandingan Ketika Terhubung *Grid* dan DG1,2

ID Rele	Koordinasi Menggunakan Program Algoritma Genetika			Koordinasi Menggunakan Perhitungan Manual		
	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (Ampere)	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (Ampere)
	<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>		<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>	
R1f	0,65	0,07	77,75	0,583	0,07	70
R2f	0,97	0,18	144,77	0,87	0,17	131
R3f	0,95	0,27	190,76	0,88	0,27	176
R4f	0,85	0,35	255,57	0,8	0,36	240
R5f	0,87	0,43	346,97	0,8	0,41	318
ID Rele	Koordinasi Menggunakan Program Algoritma Genetika			Koordinasi Menggunakan Perhitungan Manual		
	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (Ampere)	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (Ampere)
	<i>Tap</i>	<i>Time Delay</i>		<i>Tap</i>	<i>Time Delay</i>	
R1f	42,07	0,1	5048	42,06	0,1	5048
R2f	29,81	0,3	4472	29,8	0,3	4472
R3f	26,04	0,5	5208	26,04	0,5	5208
R4f	18,56	0,7	5568	18,56	0,7	5568

Tabel 4.23 Perbandingan Ketika Terhubung *Grid* dan DG1,2 lanjutan

ID Rele	Koordinasi Menggunakan Program Algoritma Genetika			Koordinasi Menggunakan Perhitungan Manual		
	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (Ampere)	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (Ampere)
	<i>Tap</i>	<i>Time Delay</i>		<i>Tap</i>	<i>Time Delay</i>	
R5f	12,46	0,9	4984	12,46	0,9	4984
R2r	4,24	0,5	848	4,24	0,5	848
R3r	7	0,3	840	7	0,3	840
R4r	6,93	0,1	832	6,9	0,1	832

Tabel 4.24 Perbandingan Ketika Terhubung *Grid* dan DG 2

ID Rele	Koordinasi Menggunakan Program Algoritma Genetika			Koordinasi Menggunakan Perhitungan Manual		
	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (Ampere)	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (Ampere)
	<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>		<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>	
R1f	0,65	0,07	77,82	0,583	0,06	70
R2f	0,97	0,17	144,96	0,87	0,17	131
R3f	0,93	0,26	185,32	0,88	0,27	176
R4f	0,82	0,34	245,52	0,8	0,36	240
R5f	0,86	0,40	343,59	0,8	0,41	318

Tabel 4.24 Perbandingan Ketika Terhubung *Grid* dan DG 2 lanjutan

ID Rele	Koordinasi Menggunakan Program Algoritma Genetika			Koordinasi Menggunakan Perhitungan Manual		
	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (Ampere)	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (Ampere)
	<i>Tap</i>	<i>Time Delay</i>		<i>Tap</i>	<i>Time Delay</i>	
R1f	35,80	0,1	4296	35,8	0,1	4296
R2f	29,81	0,3	4472	29,8	0,3	4472
R3f	23,48	0,5	4696	26,08	0,5	5208
R4f	15,65	0,7	4695	18,58	0,7	5576
R5f	12,46	0,9	4984	12,46	0,9	4984

Tabel 4.25 Perbandingan Ketika Terhubung *Grid* dan DG 1

ID Rele	Koordinasi Menggunakan Program Algoritma Genetika			Koordinasi Menggunakan Perhitungan Manual		
	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (Ampere)	Setting <i>Lowset</i>		Arus Pickup (Ampere)
	<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>		<i>Tap</i>	<i>Time Dial</i>	
R1f	0,63	0,07	75,18	0,583	0,067	70
R2f	0,94	0,17	141,73	0,87	0,167	131
R3f	0,94	0,26	187,61	0,88	0,27	176
R4f	0,84	0,34	250,98	0,8	0,347	240
R5f	0,85	0,40	340,64	0,8	0,41	318
ID Rele	Koordinasi Menggunakan Program Algoritma Genetika			Koordinasi Menggunakan Perhitungan Manual		
	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (Ampere)	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (Ampere)
	<i>Tap</i>	<i>Time Delay</i>		<i>Tap</i>	<i>Time Delay</i>	
R1f	38,00	0,1	4560	38	0,1	4560
R2f	26,24	0,3	3936	26,24	0,3	3936
R3f	22,52	0,5	4504	22,52	0,5	4504

Tabel 4.25 Perbandingan Ketika Terhubung *Grid* dan DG 1 lanjutan

ID Rele	Koordinasi Menggunakan Program Algoritma Genetika			Koordinasi Menggunakan Perhitungan Manual		
	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (A)	Setting <i>Highset</i>		Arus Pickup (A)
	<i>Tap</i>	<i>Time Delay</i>		<i>Tap</i>	<i>Time Delay</i>	
R4f	15,92	0,7	4776	15,92	0,7	4776
R5f	12,46	0,9	4984	12,46	0,9	4984
R2r	4,24	0,5	848	4,24	0,5	848
R3r	7,00	0,3	840	7	0,3	840
R4r	7,00	0,1	840	7	0,1	840

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa koordinasi proteksi adaptif rele arus lebih digital dengan menggunakan algoritma genetika, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan pembangkit tersebar pada sistem distribusi radial mempengaruhi besar arus gangguan yang terjadi. Pada kondisi jaringan hanya terhubung *grid* , arus hubung singkat minimum pada bus 2 sebesar 4,91 A. Sedangkan saat kondisi *islanding* arus hubung singkat minimum pada bus 2 sebesar 1,04 A. Pada bus 1 ketika jaringan hanya terhubung *grid* arus hubung singkat maksimum sebesar 5,48 A sedangkan ketika jaringan terhubung *grid* DG 1 dan DG2 arus hubung singkat maksimum sebesar 6,91 A. Hal ini dikarenakan pembangkit tersebar dengan jenis generator sinkron menyumbang arus kontribusi ketika terjadi gangguan.
2. Karakteristik arus kontribusi menjadi *bidirectional* ketika terjadi gangguan pada bus 3, bus 4 dan bus 5. Sehingga perlu peralatan pengaman *directional overcurrent relay*.
3. Melalui program koordinasi proteksi rele arus lebih digital dengan menggunakan algoritma genetika, berdasarkan tabel 4.21 sampai dengan 4.25 , koordinasi rele dapat dihasilkan dengan tepat tanpa melakukan langkah pengecekan kurva pada ETAP *star view simulation*.
4. Penempatan pembangkit tersebar dan jumlah pembangkit tersebar mempengaruhi jenis kebutuhan peralatan pengaman. Salah satu peralatan pengaman tersebut adalah *directional overcurrent relay*. Bila DG diinjeksikan pada bus 5, peralatan pengaman *directional overcurrent relay* tidak diperlukan sepanjang saluran bus 4, bus 3, bus 2 dan bus 1. Sedangkan bila DG diinjeksikan pada bus 4, maka kebutuhan peralatan *directional overcurrent relay* hanya 1 buah yaitu pada saluran antara bus 5 dan bus 4. Hal ini berkaitan dengan letak sumber arus kontribusi ketika terjadi gangguan.
5. Koordinasi adaptif dapat meningkatkan sensitivitas dan kecepatan. Hal ini dapat terlihat dari hasil koordinasi ketika jaringan hanya

terhubung *grid*, arus *pickup* rele R1f dihasilkan sebesar 3800 A sedangkan saat kondisi *islanding* arus *pickup* dihasilkan sebesar 1560 A, sehingga saat kondisi *islanding* koordinasi dapat mendeteksi arus gangguan pada sisi *highset* yang lebih kecil nilainya dari koordinasi ketika hanya terhubung *grid*. Disamping itu waktu operasi juga akan lebih cepat dengan terdeteksinya arus gangguan pada sisi *highset* yaitu sebesar 0,1.

5.2 Saran

Dari hasil kesimpulan diatas, penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Penempatan pembangkit tersebar perlu mempertimbangkan kebutuhan peralatan pengaman.
2. Untuk penelitian selanjutnya, program koordinasi proteksi ini dapat dilengkapi perhitungan aliran daya dan hubung singkat sehingga data-data tidak perlu diambil dari *software* ETAP.
3. Perlu dibandingkan dengan menggunakan metode selain algoritma genetika, agar didapat metode yang lebih efisien dalam proses algoritma dan kecepatan iterasi terhadap kasus koordinasi proteksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Noghabi S.Abbas, Sadeh J, Mashhasi R.Habib, “*Considering Different Netowrk Topologies in Optimal Overcurrent Relay Coordination Using a Hybrid GA*” IEEE Transaction On Power Delivery, Vol. 24 , No.4, Oct 2009.
- [2] Felipe A.Contreras, Gustavo A.Ramos, Mario A.Rios, “*Methodology and Design of an Adaptif Overcurrent Protection for Distribution Systems with DG*” IJECS-IJENS, vol.12 No.05, Oct.2012
- [3] Chen Chao R, Lee Cheng H, Chang Chi J, “*Optimal Overcurrent Relay Coordination in Power Distribution System Using a New Approach*” Electr Power Energy Syst, vol 45 ,2013
- [4] Haupt.L , Haupt.E “*Practical Genetic Algorithm*”, John Wiley, USA, Ch 3, 2004
- [5] Anderson, P.M, “Power System Protection”, John Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch. 3, 1998
- [6] IEEE std 242-2001, “*IEEE Recommended Practice for Protectionand Cordination of Industrial and Commercial Power q System*”The institute of Electrical and Electronic Engineering, Inc, New York, Ch 15, 2001.
- [7] Dondi P et al.”*Network Integration of Distributed Power Generation*” Journal of Power Sources, Vol. 106, 2002.
- [8] U.S. Department of Energy, “*The potential benefits of distributed generation and rate-related issues that may impede their expansion*”, Feb. 2007.
- [9] J.-H. Chen, S.-H. Chen, and Y.-M. Yang, “*Study on adaptive protection relay system based on multi-agent,*” in Machine Learning and Cybernetics, 2005. Proceedings of 2005 International Conference on, vol. 1, pp. 114 –118, aug. 2005.

- [10] H.Wan, K. Li, and K.Wong, “*An adaptive multiagent approach to protection relay coordination with distributed generators in industrial power distribution system,*” Industry Applications, IEEE Transactions on, vol. 46, pp. 2118 –2124, sept.-oct. 2010.
- [11] Product Guide, “Feeder Protection Relay ABB REX 521”,The ABB Group, Version H/18.10.2010, 2011

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

RIWAYAT PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Arif Setiawan. Lahir di sebuah Kabupaten diantara Yogyakarta dan Solo yaitu Klaten pada tanggal 26 September 1991. Penulis mengawali pendidikan di SDN I Karanganom Klaten, kemudian melanjutkan ke SMP Muhammadiyah 9 Klaten pada tahun 2003. Setelah lulus dari SMP ,pada tahun 2006 penulis melanjutkan pendidikannya ke SMAN 1 Karanganom Klaten. Kemudian setelah lulus dari SMA pada tahun 2009, penulis melanjutkan studi jenjang diploma 3 di Institut Teknologi Telkom Bandung, Jurusan Teknik Elektro & Komunikasi , Bidang Studi Teknik Multimedia & Jaringan. Setelah lulus tahun 2012 penulis melanjutkan studi sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga.